

***REAL-TIME BUSINESS INTELLIGENCE PARA UM
USO MAIS EFICIENTE DA ÁGUA EM AMBIENTES
URBANOS***

Renata Costa Pinto

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre em Gestão da Informação

NOVA Information Management School
Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação
Universidade Nova de Lisboa

REAL-TIME BUSINESS INTELLIGENCE PARA UM USO MAIS EFICIENTE DA ÁGUA EM AMBIENTES URBANOS

por

Renata Costa Pinto

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Gestão de Informação com Especialização em Business Intelligence.

Orientador/Coorientador: Doutor Miguel de Castro Simões Neto

Março 2020

AGRADECIMENTOS

Um agradecimento especial à minha filha, que durante os meses de elaboração deste trabalho, ainda na barriga, se portou bem e permitiu o desenvolvimento do mesmo.

Ao meu marido, por todo o incentivo, apoio e confiança desde o início dessa jornada.

À toda minha família e amigos, pela torcida, motivação e compreensão na minha forçada ausência em momentos importantes.

Ao Professor Doutor Miguel de Castro Neto, pela disponibilidade, atenção e orientação deste trabalho e aos demais professores da NOVA IMS pelo conhecimento transmitido ao longo do mestrado.

Agradeço também a equipa de IG pela oportunidade de enriquecer e desenvolver o meu conhecimento nesta nova etapa da minha carreira profissional e pelo apoio e motivação para conclusão da tese.

RESUMO

O consumo inadequado e o desperdício da água são um dos principais problemas dos ambientes urbanos nos dias de hoje. Rastrear o desperdício e promover o uso consciente da água é um desafio à altura dos sistemas de gestão de dados e *Business Intelligence* (BI). No ambiente competitivo de hoje, com rápida inovação em medidores inteligentes e redes inteligentes, os sistemas de monitorização de água recolhem milhares de dados que permitem o acompanhamento do seu consumo em tempo real. Contudo, sem a aplicação das ferramentas mais apropriadas à análise e visualização desses dados, os resultados tornam-se ininteligíveis e, necessariamente subaproveitados.

Ressaltando o fato de que este setor é um ambiente onde as decisões são sensíveis ao tempo, há uma maior necessidade de inteligência de negócios em tempo real, traduzida do inglês *Real-Time Business Intelligence* (RTBI). As soluções RTBI irão ajudar as empresas a melhorar as experiências dos clientes e as eficiências operacionais, antecipando o tempo da tomada de decisão.

O principal objetivo desta dissertação é desenvolver um modelo de solução RTBI que possa contribuir para um uso mais eficiente da água nas cidades, com foco na etapa de consumo doméstico do ciclo da água. Por um lado, esta solução pretende ser capaz de identificar, através da monitorização em tempo real, vazões de consumo acima do habitual que possam caracterizar uma fuga de água e por outro, gerar informação sobre os volumes de consumo doméstico de forma a mapear padrões de comportamento e impactar os consumidores na direção de um consumo mais inteligente. Através das ferramentas de BI Microsoft, será possível implementar uma plataforma completa e eficaz que providencie aos utilizadores informação de um modo facilitado e compreensível.

Além da análise nesta área, a dissertação apresenta como estudo de caso a solução aplicada à empresa Aquasave, uma empresa brasileira que presta serviços com foco na economia de água, permitindo uma avaliação do modelo criado e do impacto que a utilização de ferramentas de BI pode trazer para economia de água.

PALAVRAS-CHAVE

Consumo de Água; Monitorização de Perdas; Real-Time Business Intelligence; Medidores Inteligentes; Economia de Água; Água Inteligente.

ABSTRACT

Inadequate consumption and waste of water are amongst the key-problems urban environments face nowadays. Tracking waste and promoting water-conscious consumption is a challenge for data management systems and Business Intelligence (BI). In today's competitive, with rapid innovation in smart meters and smart grids, water monitoring systems collect a huge amount of data enabling you to analyze consumption patterns in real time. However, without an appropriate and smart application of the available tools providing you a complete visualization and analysis of data, results might become unintelligible and thus underutilized.

Considering the fact that this sector is an environment where decisions are time-sensitive, there is an increased need for proper real-time business intelligence solutions (RTBI). These solutions will help companies improve their customer experiences and maximize their operational efficiencies, while contributing to optimize decision-making timings.

The main goal of this dissertation is to develop a model of RTBI solution that can contribute to a more efficient use of water in cities, focusing on the stage of domestic consumption of the water cycle. On one hand, this solution intends to be able to identify, through real-time monitoring, consumption flows outside the usual curve of consumption signaling water-leaks or another factor disrupting the normal household consumption pattern. On the other hand, the idea of building this solution is to generate enough information on volumes of household consumption in order to map consumers behavior, through their volumes, impacting and encouraging them towards a smarter consumption. Through Microsoft BI tools, one will be able to implement a complete and effective platform providing users the needed information in a much more easy and visual way.

Besides the relevant analysis and customized BI solution to this specific problem, this dissertation presents a case study based on an existing service provided by a Brazilian company named Aquasave. This company, operating in some regions of Brazil, promotes business services fully focused on water savings. Thus, this real-life services and data provide us realistic data to evaluate and test our model, as well as, the potential impact of BI tools in water savings.

KEY-WORDS

Water consumption; Water saving; Real-time Business Intelligence; Water loss monitoring; Smart meters; Smart Water.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTO	1
1.2. PROBLEMA.....	2
1.3. OBJETIVO	4
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	6
2.1. O CICLO DA ÁGUA.....	6
2.2. A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS	8
2.3. OS SISTEMAS PREDIAIS DO BRASIL.....	9
2.4. CONSUMO DE ÁGUA	10
2.5. PERDA, DESPERDÍCIO E VAZAMENTO	12
2.6. CÁLCULO DAS PERDAS.....	14
2.7. CONTROLO DE VAZAMENTOS	16
3. BUSINESS INTELLIGENCE.....	18
3.1. PLATAFORMA DE BI	18
3.1.1. PROCESSO DE ETL (EXTRACT, TRANSFORMING AND LOAD)	19
3.1.2. DATA WAREHOUSE	19
3.1.3. MODELAGEM DIMENSIONAL.....	20
3.1.4. CUBO MULTIDIMENSIONAL.....	22
3.1.5. OLAP (<i>ONLINE ANALYTICAL PROCESSING</i>).....	23
3.2. REAL-TIME BUSINESS INTELLIGENCE	25
3.3. BUSINESS INTELLIGENCE NO SETOR DAS UTILITIES	26
3.3.1. “ <i>SMART GRID</i> ” E “ <i>SMART WATER</i> ”	26
3.3.2. A TECNOLOGIA APLICADA ÀS <i>UTILITIES</i>	28
4. SOLUÇÃO DE BI PARA MONITORIZAÇÃO DO CONSUMO DA ÁGUA	29
4.1. NECESSIDADES DO NEGÓCIO	29
4.2. FONTE DE DADOS	30
4.3. MODELO DIMENSIONAL.....	31
4.3.1 TABELA FATO	32
4.3.2 DIMENSÕES.....	32
4.3.3 STAR SCHEMA	33
4.4. DATA WAREHOUSE.....	34
4.4.1 ETL PROCCCESS	34
4.4.2 ESTRUTURA DA DW	35

4.5. CUBO OLAP	36
4.5.1 ESTRUTUTRA DO CUBO.....	36
4.5.3 MÉTRICAS.....	37
4.5.4 KPI's.....	38
4.6. REPORTING	40
4.7. PLATAFORMA DE BI	43
5. APLICAÇÃO DA SOLUÇÃO NA CIDADE DE SALVADOR.....	44
5.1. ETL	44
5.1.1 IDENTIFICAÇÃO DOS DADOS.....	44
5.1.2 PROCESSOS DE CARREGAMENTO	45
5.2. OLAP	47
5.2.1 MODELOS MULTIDIMENSIONAIS.....	47
5.2.2 MÉTRICAS CALCULADAS	49
5.3. REPORTING	50
6. CONCLUSÃO	53
6.1. OBJETIVOS CONCRETIZADOS.....	53
6.2. LIMITAÇÕES	54
6.3. TRABALHOS FUTUROS	55
7. BIBLIOGRAFIA	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Perda média de água em alguns países	3
Figura 2 - Consumo de água per capita no Brasil.....	3
Figura 3 - Consumo Per Capita por Estado.....	4
Figura 4 - The Water Cycle	6
Figura 5 - Ciclo Integrado do Uso da Água	7
Figura 6 - Esquema habitual das instalações hidráulicas prediais no Brasil	9
Figura 7 - Classificação dos Vazamentos.....	13
Figura 8 - Funções relacionadas ao Business Intelligence	18
Figura 9 - Arquitetura geral da plataforma de BI	19
Figura 10 - Curva de latência tempo-valor.....	25
Figura 11 - Smart Grid	27
Figura 12 - Star Schema conceitual para monitorização de consumo de água	34
Figura 13 - Esquema de construção da DW	34
Figura 14 - Processo de extração e carregamento dos dados	35
Figura 15 - Diagrama DW consumo diário	35
Figura 16 - Data Source View/Cubo OLAP para análise do consumo	36
Figura 17 - Dimensões do Cubo	37
Figura 18 - Hierarquias da Localização e Tempo.....	37
Figura 19 - Definições do KPI VAR_CONSUMO	39
Figura 20 - Definições do KPI CONSUMO_Q_MIN	39
Figura 21 - Definições do KPI CONSUMO_CONSCIENTE	39
Figura 22 - Esquema para elaboração dos relatórios em dashboards.....	40
Figura 23 - Dashboard Análise em Tempo Real	41
Figura 24 - Dashboard Análise do Consumo Histórico.....	41
Figura 25 - Dashboard Análise do Padrão de Consumo vs. Variáveis Climáticas.....	42
Figura 26 - Dashboard Análise do Padrão de Consumo vs. Perfil do Cliente.....	42
Figura 27 - Arquitetura da plataforma de <i>Business Intelligence</i> para monitorização do consumo doméstico de água	43
Figura 28 - Arquitetura da recolha de dados	44
Figura 29 - Processo ETL de construção da tabela fato da análise em tempo real.....	45
Figura 30 - Processo ETL de carregamento da dimensão Cliente	46
Figura 31 - Processo ETL de carregamento da dimensão Tempo	46
Figura 32 - Processo de carregamento da dimensão Clima	47
Figura 33 - Processo ETL de carregamento da tabela Fato Consumo.....	47

Figura 34 - Processo de carregamento das tabelas do modelo	48
Figura 35 - Modelo multidimensional para análise do consumo doméstico de água	48
Figura 36 - Modelo multidimensional para análise da vazão de consumo em tempo real.....	49
Figura 37 – Dashboard de Análise do Consumo em Tempo Real	51
Figura 38 – Dashboard de Análise do Consumo	52
Figura 39 – Dashboard de Análise Padrão de Consumo	52

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Estimativa da demanda de mundial de água.	1
Tabela 2 - Estimativa da demanda doméstica de água	2
Tabela 3 - Balanço Hídrico.....	15
Tabela 4 - Levantamento das necessidades do negócio	32
Tabela 5 - Tabela com as métricas calculadas.....	38

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

BI	Business Intelligence
DW	Data Warehouse
DM	Data Mart
ETL	Extract, Transform and Load
EU	União Europeia
KPI	Key Performance Indicator
OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
OLAP	On-line Analytical Processing
OLTP	On-line Transaction Processing
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
RTBI	Real-Time Business Intelligence
SGBD	Sistema de gerenciamento de banco de dados
SQL	Structured Query Language
SSAS	SQL Server Analysis Services
SSIS	SQL Server Integration Server
SSRS	SQL Server Reporting Services
WWC	World Water Council

1. INTRODUÇÃO

O Fórum Económico Mundial enumera a crise da água como um dos maiores riscos globais para os próximos anos em função dos impactos das mudanças climáticas e da demanda de água, cujo crescimento previsto é insustentável. A fim de mobilizar o utilizador para um uso consciente e preventivo da água e de monitorizar o consumo de água evitando fugas, este trabalho busca desenvolver uma solução de *Business Intelligence* que disponibilizará as informações de consumo em tempo real. Será suportado por um modelo multidimensional OLAP (*Online Analytical Processing*), que através dos processos ETL (*Extract, Transform and Load*) e da implementação de ferramentas de visualização de dados permitirá uma eficiente análise dos dados e poderá trazer novas perspetivas estratégicas ao utilizar correlações relevantes capazes de gerar informações e novos *insights*.

1.1. CONTEXTO

A água está se tornando um bem de consumo cada vez mais escasso e mais valioso. De acordo com o último relatório mundial da Organização das Nações Unidas (ONU), de março de 2018, a demanda mundial da água tem aumentado a uma taxa média de 1% ao ano devido ao crescimento populacional, ao desenvolvimento económico e às mudanças nos padrões de consumo, entre outros fatores, e continuará a aumentar de forma significativa durante as próximas duas décadas. Atualmente, a demanda mundial da água é estimada, em torno de 4.600 km³/ano, e calcula-se que esta irá aumentar de 20% a 30%, atingindo um volume entre 5.500 e 6.000 km³/ano até 2050 (Burek et al., 2016). Levantamentos globais atuais, indicam que os volumes da demanda atual já estão perto de níveis máximos sustentáveis (Gleick and Palaniappan, 2010; Hoekstra and Mekonnen, 2012).

Total water demand [km ³ /year]	Amount				Change rate (% of 2010)
	2010 Share		2050 Share		
Africa	231	100%	359	100%	155
Asia	3026	100%	3941	100%	130
North and Central Am	659	100%	667	100%	101
South America	166	100%	229	100%	137
Europe	447	100%	558	100%	125
Oceania	37	100%	43	100%	115
World	4566	100%	5796	100%	127

Tabela 1 - Estimativa da demanda de mundial de água.

Fonte: Water Futures and Solution - Fast Track Initiative (Burek et al., 2016)

Além da demanda global, é importante analisar a contribuição de cada setor para a demanda total de água, pois indica em qual setor as intervenções políticas de água devem ser implementadas.

Segundo Burek et al. (2016), o uso doméstico da água, que corresponde a aproximadamente 10% do total da captação hídrica em todo o mundo, deve aumentar de forma significativa no período 2010-2050, em quase todas as regiões do mundo conforme pode ser observado na tabela seguinte (Tabela 2).

Dom. water demand [km ³ /year]	Amount		Change rate	
	2010	Share	2050	Share
Africa	26	11%	101	28%
Asia	202	7%	565	14%
North and Central Am	82	13%	118	18%
South America	39	23%	82	36%
Europe	72	16%	93	17%
Oceania	6	15%	9	21%
World	427	9%	967	17%

Tabela 2 - Estimativa da demanda doméstica de água. Fonte:
Water Futures and Solution - Fast Track Initiative (Burek et al., 2016)

Quando se faz uma análise por setor da demanda, é notável que a América do Sul apresenta significativa parcela do consumo total para a demanda do uso doméstico, mais do que o dobro da taxa global.

Devido a este cenário insustentável e a outros grandes problemas do mundo, a Organização das Nações Unidas (ONU), convocou todos os países do mundo para agir em contrário. Em 2015, criou a Agenda 2030 de Desenvolvimento Sustentável, uma resolução constituída por 17 objetivos, desdobrados em 169 metas para transformar o mundo em nome dos povos e do planeta.

Esta agenda é fruto do trabalho conjunto de governos e cidadãos de todo o mundo que pretende criar um novo modelo global para acabar com a pobreza, promover a prosperidade e o bem-estar de todos, proteger o meio ambiente e combater as alterações climáticas.

“Garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos” é um dos objetivos – o número 6 – presentes na Agenda 2030. Neste objetivo estão incluídas metas como:

- Aumentar substancialmente a eficiência no uso da água de modo a evitar o desperdício
- Implementar a gestão integrada dos recursos hídricos
- Fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água

Passando para um nível local de ação, no último Fórum Mundial da Água, realizado no Brasil em março de 2018, as autoridades brasileiras adotaram as recomendações da ONU para desenvolver novas soluções que visam melhorar e tornar mais eficientes as práticas urbanas da gestão da água. Assumiram compromissos globais para reduzir o desperdício, promover o consumo consciente e o uso eficiente da água no cotidiano dos usuários através da utilização eficiente da tecnologia inovadora para alterar os paradigmas de consumo.

1.2. PROBLEMA

Em 2016, o Brasil desperdiçou 38% da água potável nos sistemas de distribuição, o equivalente a quase 7 mil piscinas olímpicas a cada dia. De acordo com a OECD, a principal causa do desperdício de água nas cidades é a precária e ineficiente infraestrutura dos sistemas. Além dos prejuízos económicos, as perdas trazem consequências tanto para o sistema de produção, quanto para o meio ambiente, já que um elevado nível de desperdício equivale a uma necessidade de captação e produção superiores ao volume efetivamente demandado pela sociedade.

Outro fato relevante no Brasil é que apesar de ser o país com a maior quantidade de água per capita do mundo, a sua disponibilidade é má distribuída ao longo do território. Nas regiões onde existem menos reservas de água, reside a maior parte da população e também acontece a maior parte das atividades econômicas – industriais, comerciais e agrícolas. Assim, os sistemas de abastecimento ficam cada vez mais sobrecarregados devido aos grandes volumes das demandas das grandes cidades que em conjunto com as más condições das redes, geram grandes volumes de perdas.

Os volumes de água desperdiçados no Brasil são cerca de 23 pontos percentuais acima da média de países desenvolvidos, cuja média de perda é de 15%. No gráfico a seguir (Figura 1) é possível comparar a perda de água no Brasil em relação a alguns países do mundo.

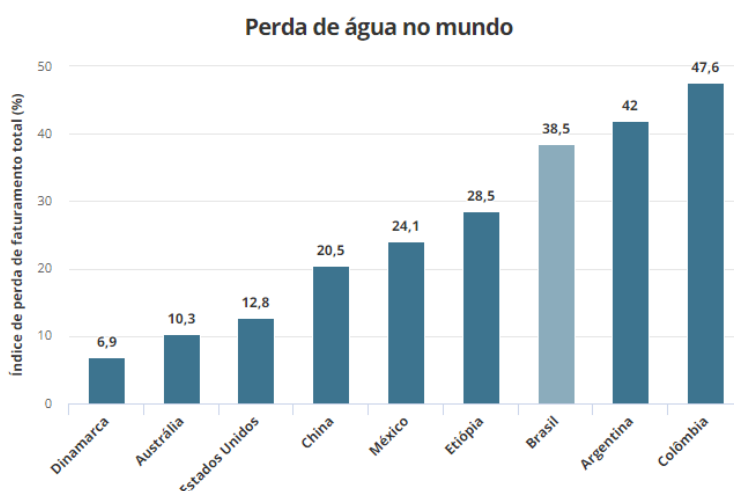


Figura 1 - Perda média de água em alguns países. Fonte: Instituto Trata Brasil

Outro ponto relevante em relação ao consumo de água é o índice do “consumo médio per capita”, ou seja, a média diária, por indivíduo, dos volumes utilizados para satisfazer os consumos domésticos, comercial, público e industrial. É uma informação importante para as projeções de demanda, para o dimensionamento de sistemas de água e de esgotos, e para o controle operacional.

No Brasil, os índices de consumo per capita estão a volta de 154 litros/pessoa/dia, cerca de 40% acima do volume diário recomendado pela Organização Mundial de Saúde – um indivíduo precisa em média de 110 litros/dia para suas atividades normais. Os valores históricos dos últimos anos estão representados no gráfico da Figura 2.

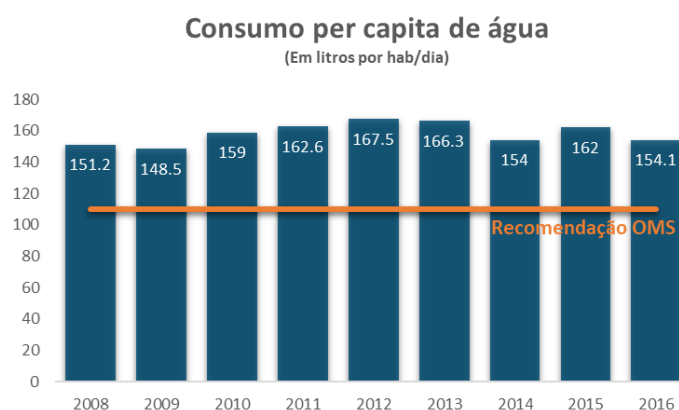


Figura 2 - Consumo de água per capita no Brasil. Fonte: adaptado, Instituto Trata Brasil.

Analisando os consumos por estado, pode-se observar que Rio de Janeiro, Amazonas, Amapá, Mato Grosso, Rondônia, São Paulo, Espírito Santo, Acre e Minas Gerais são os estados que apresentaram, em 2016, consumo per capita maior que a média do país.

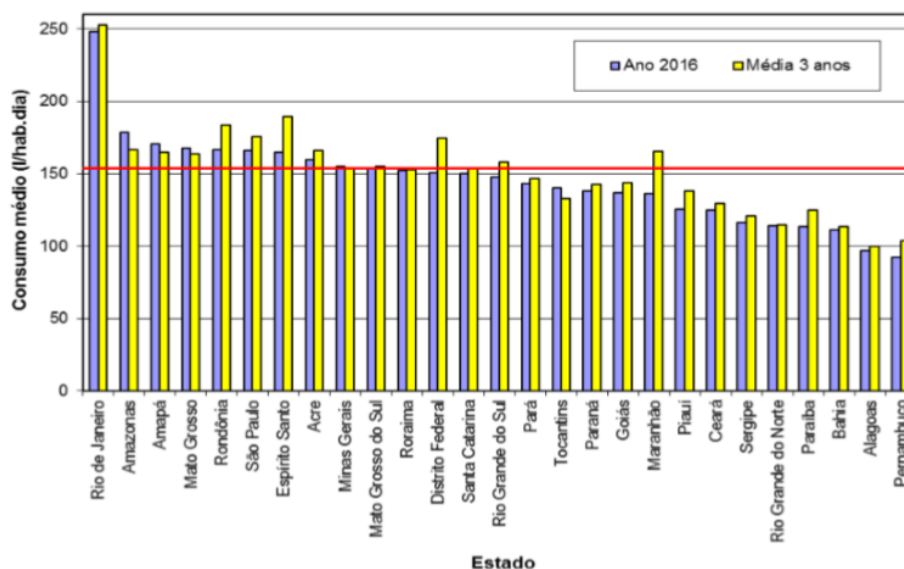


Figura 3 - Consumo Per Capita por Estado - Fonte: SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2016

Em particular, estes estados e os municípios com previsões de aumento de população e com restrições na disponibilidade hídrica nas captações devem tomar medidas para inverter a tendência crescente do consumo per capita.

Dentre as vantagens da redução do consumo per capita, além da sustentabilidade hídrica e energética com impactos ambientais benéficos, destaca-se a maior durabilidade das infraestruturas físicas, em especial das tubulações. O estabelecimento de ações contínuas de sensibilização da população para o uso racional da água assegura benefícios em curto, médio e longo prazos, com eficiência e eficácia.

1.3. OBJETIVO

Para tornar os padrões de consumo mais sustentáveis é preciso promover uma maior conscientização sobre o valor da água para os seus diversos fins. Através de sistemas de monitorização da vazão de água, é possível acompanhar em tempo real o consumo, diminuir desperdícios, otimizar processos e incentivar o uso consciente deste recurso cada vez mais escasso.

Entre os vários ângulos do impacto positivo da tecnologia aplicada à gestão eficiente da água, está a visualização dos dados sobre o consumo. Esta variável, entre as outras necessárias na equação da sustentabilidade, não apenas torna mais mensurável qualquer esforço de poupança como permite a interpretação útil e rigorosa da informação.

O objetivo deste trabalho passa por propor uma solução de plataforma de *Business Intelligence* que possa contribuir para amenizar o problema do desperdício de água nos ambientes urbanos, através de 2 objetivos principais:

- Monitorizar, em tempo real, volumes de consumo acima do habitual que possam indicar fugas/desperdício de água;
- Analisar os consumos domésticos diários a fim de identificar padrões de comportamento e alertar os excessos de consumo, conscientizando o utilizador para um uso mais sustentável da água.

Adicionalmente esta dissertação demonstrará o impacto que a utilização das soluções de *Real-Time Business Intelligence* pode trazer para a indústria da água. Com a utilização do modelo multidimensional, procura-se oferecer suporte a tempos de resposta rápidos e fornecer uma única fonte de dados para os relatórios de negócios. Através da fácil integração com as ferramentas de visualização dos dados, pretende-se, além de ganhar eficiência, redefinir a forma de apresentação dos dados possibilitando a perceção de *insights*, padrões e dependências significativas, otimizando o entendimento dos dados por parte dos utilizadores.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Nesse capítulo será feita uma introdução teórica sobre a temática do ciclo da água e sua gestão integrada de forma a criar um maior entendimento da questão abordada neste documento.

Além de enquadrar teoricamente a relevância do tema e definir os conceitos utilizados, a presente pesquisa bibliográfica irá contribuir para sustentar as métricas utilizadas para o alcance dos objetivos definidos, bem como para conhecer o que já foi desenvolvido e investigado por outros autores a respeito do tema em causa.

2.1. O CICLO DA ÁGUA

A água é o mais precioso bem da vida humana. Além de determinante para a existência da vida, é essencial para o desenvolvimento socioeconômico e para o equilíbrio ecológico e ambiental do planeta.

Devido a existência do ciclo hidrológico (Figura 4), a água é um recurso renovável. Diferente de outros minerais, a água é o único elemento que, em condições normais, existe nos três estados físicos da matéria: sólido, líquido e gasoso. Sua renovação é feita através do ciclo natural e contínuo das passagens de um estado para outro e entre a superfície e a atmosfera.

A radiação solar e a gravidade são os principais fatores que possibilitam este processo. A energia solar que incide na Terra permite a evaporação da água (passagem do estado líquido para o gasoso) e o vapor d'água dirige-se para a atmosfera. Na atmosfera, onde a temperatura é inferior, ocorre a condensação e consequente precipitação e assim a água retorna para a superfície através de uma das formas de precipitação (chuva, granizo ou neve) e tem diferentes destinos. Caindo sobre uma superfície coberta com vegetação, parte da chuva fica retida nas folhas e é devolvida à atmosfera através da evaporação, parte infiltra-se no interior do solo, alimentando os lençóis freáticos. O restante, escorre sobre a superfície em direção às áreas de altitudes mais baixas, alimentando diretamente os lagos, riachos, rios, mares e oceanos.

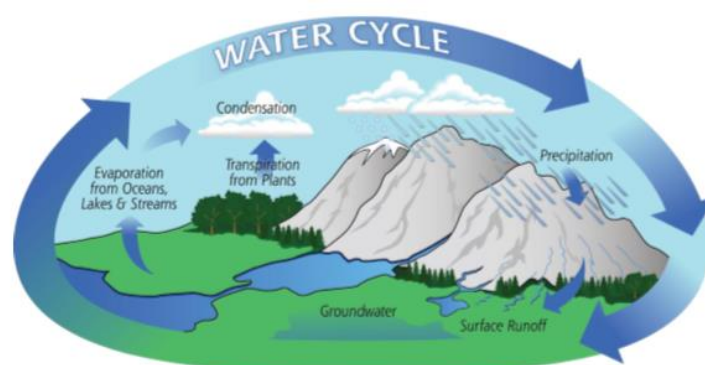


Figura 4 - The Water Cycle - Fonte: Precipitation Measurement Missions – NASA (pmm.nasa.gov/education/water-cycle)

Todo esse ciclo é fundamental para o ambiente e para a vida do nosso planeta. Através da evaporação da água dos oceanos provocada pelo aquecimento da radiação solar, principalmente nas regiões tropicais, a água é transportada para outras regiões sob a forma de vapor devido a circulação geral da

atmosfera. Esta dinâmica afeta os padrões climáticos, permite a renovação e equilíbrio da água sustentando a vida no planeta.

Além do ciclo natural da água, existem ciclos internos, em que a água permanece na sua forma líquida, mas tem as suas características alteradas em virtude da sua utilização. É o caso dos ciclos artificiais desenvolvidos pelo homem a fim de atender as demandas para os usos urbanos da água. Nesses ciclos a água subterrânea e superficiais são captadas, passam por uma estação de tratamento onde é limpa e tratada de forma a se tornar segura para utilização e em seguida é distribuída para as residências e indústrias para serem utilizadas pela população. Os esgotos gerados são coletados e transportados para uma segunda estação de tratamento onde a água é tratada a fim de eliminar ao máximo os agentes poluentes para então ser devolvida ao meio ambiente. O despejo da água tratada é feito através dos rios e mares, e dessa forma a água é reinserida no ciclo natural da água.

A Figura 5 a seguir apresenta um exemplo de um ciclo integrado do uso da água, com o ciclo artificial para utilização humana inserido no ciclo natural da água.



Figura 5 - Ciclo Integrado do Uso da Água - Fonte: Anglian Water Company

Devido a sua renovação, a questão da escassez da água era tida como improvável segundo as teorias económicas tradicionais como a Keynesiana, Malthusiana ou qualquer outra (Gleick, 1993). Entretanto nas últimas décadas tem-se verificado uma maior complexidade da questão quer pela distribuição de água doce no planeta, quer pela renovação qualitativa da água. Segundo Gleick (1993) as taxas de renovação dos tipos de água são bastante diferentes. As águas profundas e dos oceanos, por exemplo, levam centenas ou milhares de anos para serem renovadas enquanto a água dos rios é renovada, em média, a cada 16 dias.

Assim, o mau uso da água com um consequente aumento do seu consumo, acarreta numa maior carga poluidora dos recursos hídricos que irão precisar de maior tempo para renovação. Além disso, quando o homem utiliza de forma acelerada as fontes que são renovadas lentamente, provocam uma rutura do ciclo natural da água.

2.2. A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Sendo a água um recurso que se encontra em abundância no planeta Terra, tem-se a impressão de que ela nunca terá fim. Porém, apesar da abundância de água no planeta, estima-se que apenas 0,03% do total de água disponível seja efetivamente próprio para uso. Além disso, a distribuição desigual dos recursos hídricos no planeta, faz com que diversas regiões do mundo não tenham acesso à água de qualidade. Por outro lado, existem regiões nas quais as águas doces encontram-se em abundância e o custo pelo uso deste recurso é irrisório, sendo mal utilizado, sem conscientização.

Devido as perspectivas das tendências de aumento de consumo de água, quer na agricultura, na indústria ou no uso doméstico, existem muitos debates sobre a importância deste recurso, visando preservá-lo para que as gerações futuras tenham qualidade hídrica. A conscientização mundial da escassez dos recursos hídricos, está ganhando cada vez mais relevância.

O cenário de escassez provocado pela degradação e pela distribuição irregular da água, somado ao aumento da demanda em várias atividades que dependem dela, gera conflitos, seja dentro dos próprios países (como discussões para se decidir qual será o principal uso das águas de um rio) ou entre as nações (por exemplo, no caso de bacias hidrográficas se localizarem no território de mais de um país).

De acordo com Branco (2007) a escassez da água ocorre devido a fatores que podem ser divididos em duas classes: naturais (secas regionais e alterações climáticas) ou antropogênicas (poluição através de lançamentos de efluentes nas águas de superfície, aumento do consumo individual, desperdícios nos sistemas públicos e prediais, indústria).

Oliveira (1999) define 3 níveis sistêmicos para gestão da utilização da água com objetivo de preservar os recursos ambientais e afirma que para obtenção de resultados significativos de economia de água, são necessárias ações nos três níveis. São eles:

- Nível macro – sistemas hidrográficos;
- Nível médio – sistemas públicos urbanos de abastecimento de água e coleta de esgoto;
- Nível micro – sistemas prediais;

A preservação dos sistemas hidrográficos é de extrema importância para garantia da quantidade e qualidade da água no mundo, as ações a nível meso e macro, devem ser sempre coordenadas com ações no nível macro de forma a garantir a sustentabilidade dos sistemas.

Os sistemas urbanos de abastecimento de água e coleta de esgoto representam um grande meio para implementação de ações para redução dos desperdícios e melhoria dos efluentes que são reinseridos no ciclo hidrológico.

De acordo com a OECD, a principal causa do desperdício de água nas cidades é a precária e ineficiente infraestrutura dos sistemas. A grande maioria das metrópoles ao redor do mundo apresenta problemas de infraestrutura devido ao crescimento sem planejamento e à presença de sistemas heterogêneos constituídos por materiais, idades e condições operacionais diversas. Problemas estes que se agravam nas cidades dos países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil.

Os volumes de água desperdiçados no Brasil alcançam índices de 38% de todo o volume tratado e disponibilizado nas redes de distribuição. Os índices de perdas dos sistemas de abastecimento ficam

cada vez mais sobrecarregados devido aos grandes volumes das demandas das grandes cidades que em conjunto com as más condições das redes, geram grandes volumes de perdas.

Uma das formas de minimizar esse problema é através de ações a nível micro visando a redução do desperdício por parte dos consumidores, em conjunto com ações a nível meso para controlo e redução das perdas nos sistemas de distribuição.

2.3. OS SISTEMAS PREDIAIS DO BRASIL

Nos sistemas prediais, são frequentes os desperdícios de água provenientes de vazamentos das tubulações, reservatórios e outros componentes, projetos inadequados e ao consumo negligente dos utilizadores. Todos esses fatores contribuem para um aumento do volume de água utilizada e desperdiçada no sistema.

As instalações prediais para distribuição de água nas edificações devem atender as demandas relativas a vazão, a pressão e a qualidade, de forma a propiciar ao utilizador um uso adequado da água. No caso do Brasil, a estimativa da vazão do projeto para cálculo dos diâmetros das tubulações é habitualmente estimada pelo método dos Pesos Relativos de acordo com a norma “Instalação Predial de Água Fria – NBR-5626” (ABNT, 1998). Entretanto, Santos (2002) afirma que é consenso que este método normalmente superestima a vazão do projeto e, conseqüentemente, superestima os diâmetros das tubulações. Este fato tende a aumentar o volume de água consumido nas habitações. Outrossim, fatores como a operacionalidade e manutenção do sistema são de extrema importância, uma vez que facilitam o bom desempenho do mesmo.

Uma característica importante a ressaltar nos sistemas prediais existentes no Brasil é o fato do modelo de medição para cobrança de água ser tradicionalmente coletivo. Os imóveis são abastecidos por redes distribuidoras que chegam aos hidrômetros na entrada de cada lote (terreno), essa água será armazenada em caixas d'água inferior e superior, seguindo-se a distribuição por ramais até os pontos de consumo como pode ser observado no esquema representativo (Figura 6) abaixo.

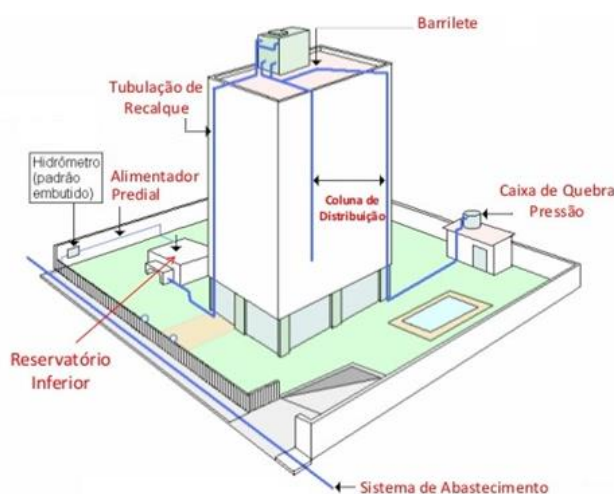


Figura 6 - Esquema habitual das instalações hidráulicas prediais no Brasil Fonte: adaptado (Carvalho Junior, 2011)

A medição do consumo é feita por funcionário da concessionária diretamente no hidrômetro da entrada e o relatório de consumo (conta de água) é enviado ao condomínio mensalmente e o valor é

dividido igualmente por todas as unidades de habitação (cobrado no valor do condomínio). Nesse tipo de sistema, a economia individual se dispersa perante a realidade de consumo global do condomínio.

Além disso, o valor da tarifa por m^3 é determinado em função do volume do consumo global. Existem faixas de tarifação que variam de acordo com o volume consumido e assim, quanto maior o consumo, maior o valor cobrado por m^3 . O que prejudica ainda mais o consumidor consciente do que desperdiça ou o morador individual de uma família numerosa, independente do esforço feito individualmente, o valor do rateio será o mesmo para todos.

O governo federal do Brasil sancionou dia 12 de julho de 2016 uma lei que torna obrigatória a medição individualizada de água em novos condomínios. A determinação obriga os prédios a adotarem padrões de sustentabilidade e passa a valer a partir de 2021. De acordo com a Lei 13.312, que altera legislação específica sobre saneamento básico, “as novas edificações de condomínios terão de incluir em suas construções hidrômetros capazes de medir individualmente o consumo hídrico”. O texto original foi alterado, pois estendia a obrigatoriedade para os prédios antigos. Porém, como a implantação implica custo elevado para os condomínios, a exigência foi revogada.

De acordo com Tomaz (1998), o uso da medição individualizada reduz de 15 a 30% o consumo de água na edificação. Dessa forma, como a nova lei só exige o sistema individualizado para novos edifícios, a maioria dos edifícios existentes nas cidades brasileiras continuará com um consumo muito além do de um valor sustentável.

2.4. CONSUMO DE ÁGUA

O uso da água pode ser dividido em três setores: doméstico, industrial (onde inclui-se a geração de energia) e agrícola. Segundo o *World Water Council* a demanda da água para uso na agricultura representa quase 70% do total da água retirada para uso humano, enquanto 20% é utilizada na indústria e 10% para uso doméstico. No Brasil, o percentual utilizado para uso doméstico chega a 18% do total.

O uso do setor doméstico classifica-se como toda a água consumida dentro e fora das habitações, dos edifícios comerciais e públicos. A água consumida dentro das habitações refere-se à utilização para higiene, preparação de alimentos e consumo próprio e normalmente é proporcional ao número de utilizadores, enquanto a água consumida fora das edificações refere-se a atividades como lavagem de carros e calçadas, rega das plantas, piscinas, etc.

Diversos fatores que influenciam o consumo de água são relacionados por Falkenberg (2005), dentre os quais pode-se destacar:

Clima: aumenta conforme aumenta a temperatura e umidade, nas regiões mais secas o consumo é maior. A presença de chuvas também afeta diretamente o consumo, reduzindo-o drasticamente na sua ocorrência;

Hábitos e nível de vida da população: quanto melhor o nível de vida da população, maior é o consumo de água, devido a um maior número de possibilidades de emprego da água, tais como área maior de jardins, carros, máquinas de lavar roupa, piscinas, entre outras aplicações que visam o conforto e facilidades;

Tamanho e desenvolvimento da cidade: o consumo de água tende a aumentar conforme o aumento da população da cidade. Entre os fatores que explicam esta tendência destaca-se a maior demanda industrial, comercial e pública, além do aumento do número de ligações de água e, proporcionalmente, as perdas físicas e não físicas da rede hidráulica;

Medição de consumo: a ausência de medição efetiva e individual nas instalações prediais favorece o desperdício e a despreocupação com vazamentos;

Estação do ano: o consumo é diferenciado nas quatro estações do ano, basicamente pela interferência dos fatores climáticos;

Dias da semana e feriados: As pessoas adquirem certos hábitos que realçam esta diferenciação, tais como o fato de preferirem lavar roupas na segunda-feira ou nos sábados;

Localização geográfica da cidade: cidades litorâneas apresentam uma curva de consumo diferente das cidades localizadas em regiões serranas, principalmente pelos hábitos diferenciados da população e diferentes atividades econômicas;

Turismo: cidades turísticas incorporam forte sazonalidade em certas épocas do ano;

Regras de consumo: algumas regras de consumo são evidenciadas ao analisar o comportamento de uma população, por exemplo, após 2 ou 3 dias consecutivos de chuva, a presença de um dia ensolarado causa um alto consumo de água, visto que muitas pessoas aproveitam a oportunidade para lavarem suas roupas, carros e calçadas;

Administração pública: a iniciativa política e uma preocupação maior com a manutenção e limpeza das áreas de uso público, tais como parques, praças e pavimentos edifícios públicos em geral;

Preço do serviço: o preço elevado das tarifas de água e esgoto promove a redução do consumo de água, interferindo diretamente nos hábitos da população;

Pressão na rede: quanto maior a pressão da rede hidráulica, maior o consumo devido à maior saída de água mesmo com pequena abertura das válvulas e torneiras, além do aumento de perdas. Segundo a norma técnica NBR 12218/1994, a pressão estática máxima das tubulações distribuidoras deve ser de 500 KPa (50 mca), e a pressão dinâmica mínima, de 100 KPa (10 mca). Valores fora desta faixa podem ser aceitos desde que justificados técnica e economicamente (Yoshimoto et al., 1999). Portanto, as redes distribuidoras devem trabalhar com pressão mais reduzida possível, contanto que seja suficiente para atender às condições de pressão mínima definida pela norma.

Nas regiões metropolitanas, a maior parte da produção de água das concessionárias é destinado aos sistemas prediais, cerca de 85% para o setor residencial enquanto os demais 15% estão distribuídos nos setores comercial (10%), industrial (2,5%) e setor público (2,5%). Dessa forma, as ações que visam a redução do consumo de água em edifícios residenciais e comerciais implicam num impacto significativo no volume de água disponibilizado nas redes de distribuição, representando uma importante colaboração para economia de água e preservação do meio ambiente. Além da redução das faturas de consumo dos utilizadores, a diminuição do volume de água necessário também reduz os custos de energia de bombeamento e tratamento de água contribuindo ainda mais para um sistema mais eficiente.

O conceito de consumo aborda a quantidade de água utilizada para atender às necessidades dos usuários incluindo os desperdícios verificados no sistema, seja ele pelas perdas e ou pelo excesso de uso.

Entender o comportamento e o perfil de consumo dos utilizadores, torna-se essencial para que se possa identificar os excessos de consumo. A monitorização em tempo real dos volumes de água, além de identificar o comportamento de consumo das diversas regiões de uma cidade, permitirá a identificação de vazamentos, podendo assim evitar maiores desperdícios principalmente quando se trata de um vazamento invisível.

2.5. PERDA, DESPERDÍCIO E VAZAMENTO

Neste ponto serão apresentados os conceitos de perda, desperdício e vazamentos aplicados aos sistemas prediais.

De acordo com a OECD, a principal causa do desperdício de água nas cidades é a precária e ineficiente infraestrutura dos sistemas. As perdas de água podem ocorrer em várias etapas dos sistemas de abastecimento: na captação e adução, nas estações de tratamentos, nos reservatórios, nos ramais prediais, ligações e finalmente nas instalações internas dos consumidores. Mas a maior parte ocorre nos sistemas de distribuição de água tratada.

O entendimento básico do conceito de perdas no sistema de distribuição é a diferença entre o volume de água tratada disponibilizado no sistema e o volume medido nos hidrômetros dos consumidores finais, num determinado período de tempo.

As perdas de água dividem-se em Perdas Reais e Perdas Aparente.

Perdas Reais – correspondem às perdas físicas de água até ao contador do cliente, quando o sistema está sob pressão. Trata-se do volume de água produzido que não chega ao consumidor final devido a ocorrência de vazamentos provocados por fissuras, roturas e extravasamentos.

Perdas Aparentes – correspondem ao volume de água consumido, mas não faturado (medido) decorrente de todos os tipos de imprecisões associadas às medições da água, fraudes, furtos ou falhas nos cadastros comerciais. Esse volume de água foi aparentemente perdido, pois a água foi consumida, com autorização ou não da concessionária, mas esta não teve eficiência de medir e cobrar por esse consumo.

Quando limitamos os conceitos de perdas ao sistema predial, considera-se apenas a perda real, pois as perdas consideradas são somente físicas, ou seja, referente a água que não é consumida por causa de vazamento em tubulações, reservatórios e em componentes de utilização.

De acordo com Oliveira (1999) denomina-se perda num sistema predial a água que escapa do sistema antes de ser utilizada para uma atividade fim e em geral ocorrem devido aos seguintes fatores:

- Vazamento – fuga de água de um sistema hidráulico nas tubulações ou equipamentos (conjunto motor bomba e outros)
- Mau desempenho do sistema

- Negligência do usuário – torneira mal fechada por exemplo

Os vazamentos podem ser divididos em duas classificações: visíveis e não-visíveis e estes são subdivididos em detetáveis e não-detetáveis, de acordo com a figura 7 a seguir.



Figura 7 - Classificação dos Vazamentos. Fonte: Adaptado de SABESP (2017)

Vazamentos visíveis – correspondem àqueles que afloram na superfície do terreno por percolação pelo solo e pelo pavimento ou através dos dispositivos da rede, tornando-se visíveis e são facilmente detetáveis pela população ou técnicos. Normalmente apresentam grandes vazões de perdas por curto período de tempo, pois são rapidamente detetados e reparados. Entretanto, tornam-se mais críticas quando ocorrem em áreas isoladas com pouco trânsito de pessoas e, devido à baixa vazão do vazamento, não chegam a alterar significativamente a pressão da rede. Nesses casos, a constatação do vazamento demora mais e, conseqüentemente, o volume de perda de água torna-se significativo.

Vazamentos não visíveis – são àqueles que não afloram na superfície e podem ser detetáveis ou não.

- Detetáveis - são os vazamentos passíveis de serem detetados por equipamentos de detecção acústica, pesquisa termográfica, vídeo inspeção, entre outros.
- Vazamentos não detetáveis - são os vazamentos inerentes que não são detetáveis nem pelos mais modernos equipamentos de detecção acústica e a aplicação de outro método mais sofisticado não se justifica economicamente. Referem-se geralmente a vazamentos com vazão menor que 250L/h (Lambert, 2002) e ocorrem habitualmente nas juntas e conexões.

Os vazamentos não-visíveis podem durar longos períodos sem serem detetados, dependendo da política de controle de vazamentos ativos. Além dos prejuízos econômicos, esses vazamentos podem causar danos aos sistemas estruturais, revestimento e pinturas dos edifícios.

Além disso, as perdas trazem conseqüências tanto para o sistema de produção, quanto para o meio ambiente, já que um elevado nível de desperdício equivale a uma necessidade de captação e produção superiores ao volume efetivamente demandado pela sociedade. Por isso é de extrema importância que a monitorização dos sistemas seja feita a fim de auxiliar a prevenção de maiores perdas principalmente devido aos vazamentos e ao mau uso desse precioso bem.

2.6. CÁLCULO DAS PERDAS

As perdas físicas visíveis são facilmente identificadas quando ocorrem em áreas de trânsito de pessoas, que em geral alertam sobre a ocorrência.

Um vazamento não visível é de mais difícil detecção, sendo necessário, na maioria dos casos o uso de equipamentos específicos como os geofones mecânicos e eletrônicos, as hastes de escuta e os correlacionadores de ruídos. A duração de um vazamento não visível pode ocasionar uma perda significativa de água caso a vistoria para um controle ativo desse tipo de vazamentos não seja feita de forma regular.

Para se ter o controle dessas perdas e se conhecer os volumes de água utilizados nos processos de operação, são necessárias, entre outras ações, a monitorização através de medições periódicas. A rapidez e qualidade das reparações efetuadas sobre os vazamentos detetados na rede, são fundamentais, pois permitem a diminuição do volume de perdas e a garantia de que este se mantém em níveis controlados.

Dessa forma, para caracterizar a ocorrência de um vazamento (perda real) é necessário quantificar o volume de água perdido num determinado período de tempo.

As perdas de água podem ser aproximadamente quantificadas através do cálculo do volume de água perdida num abastecimento de água, empregando um modelo matemático citando-se como exemplos os Métodos Balanço Hídrico e Vazões Mínimas Noturnas. Segundo o tipo e natureza da perda (aparente ou real), o modelo pode ser uma simples planilha de cálculo ou uma complexa série de cálculos com uma coletânea de dados de entrada, para a determinação do volume de água perdida (Thornton, 2002).

Método do Balanço Hídrico

O Balanço Hídrico de um sistema de abastecimento de água é uma forma estruturada de avaliar os componentes dos fluxos e usos da água no sistema e os seus valores absolutos ou relativos. É uma poderosa ferramenta de gestão, pois podem ser gerados diversos indicadores de desempenho para o acompanhamento das ações técnicas, operacionais e empresariais.

O método do Balanço Hídrico é calculado de acordo com os padrões da IWA (*International Water Association*) como apresentado da tabela a seguir (Tabela 3) e tem por base o volume global de água introduzido num sistema, a quantificação do consumo autorizado faturado e não faturado, medido ou não medido, conduzindo à determinação dos volumes de perdas aparentes e reais, termo que, na prática, pretende designar perdas físicas (vazamentos). Esse método é hoje universalmente reconhecido e utilizado num crescente número de entidades gestoras em todo o mundo.

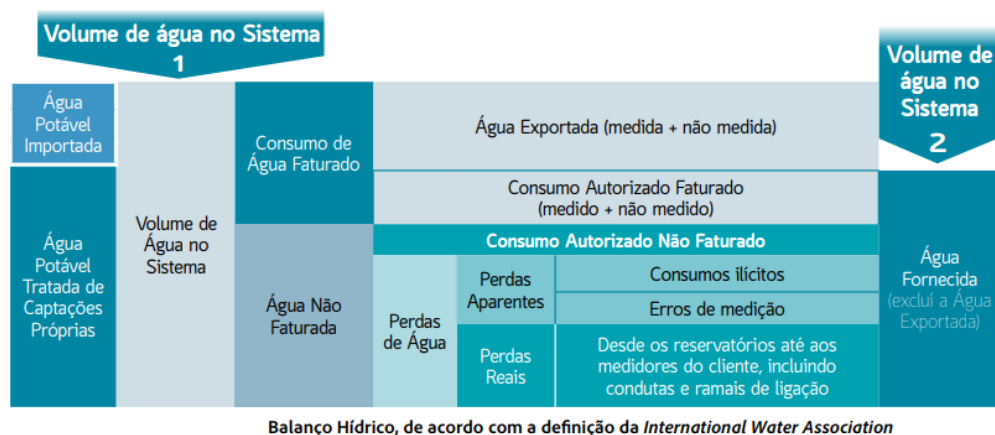


Tabela 3 - Balanço Hídrico. Fonte: Serranito e Donnelly (2015). "Controlo Ativo de Perdas de Água" - EPAL

O período de avaliação das grandezas envolvidas no Balanço Hídrico geralmente é de 12 meses, o que faz com que os valores apresentados representem uma média anualizada dos componentes, minimizando eventuais discrepâncias temporais entre os locais de medição e de faturação. Para o cálculo das Perdas Totais são geralmente determinadas a partir da diferença entre os Volumes Produzidos Fornecidos para a Distribuição (VP), e os Volumes de Usos Autorizados nos sistemas:

$$\text{Perda} = \text{VP} - (\text{Vm} + \text{u})$$

Onde:

VP = Volume de água que entra no sistema

Vm = Volume micromedido (Consumo autorizado faturado)

u = Usos Operacionais, Emergenciais e Sociais (Consumo autorizado não faturado)

As vantagens desse método são, a possibilidade de aplicá-lo desde um setor de abastecimento até pequenos subsectores, a disponibilidade de dados da macromedição e da micromedição nas companhias de saneamento, as hipóteses e estimativas requeridas, na maior parte das vezes, estão baseadas em estudos preexistentes ou dados de literatura, sem custos adicionais, e é relativamente barato. A desvantagem mais evidente é a baixa precisão dos números associados às hipóteses e estimativas, que reflete na quantificação final das perdas reais.

Método das Vazões Mínimas Noturnas

A avaliação das vazões das perdas físicas poderá ser efetuada pelo método das vazões mínimas noturnas. A base deste método é a variação dos consumos nos sistemas de abastecimento de água ao longo do dia. Normalmente, o valor extremo superior (pico) que ocorre na curva de consumo está compreendido entre 12 e 14 horas. O consumo vai caindo até atingir o consumo mínimo entre 3 e 4 horas da madrugada, a vazão correspondente ao consumo mínimo denomina-se "vazão mínima noturna" (Gonçalves e Alvim, 2007).

Segundo Gonçalves e Alvim (2007) a vazão mínima noturna também é o principal indicador do nível de perdas reais que estão ocorrendo em um sistema. A utilização da vazão mínima noturna para a

determinação das perdas reais é vantajosa devido ao fato de que, no momento de sua ocorrência, há pouco consumo e as vazões são estáveis (principalmente em áreas residenciais), e qualquer alteração na vazão mínima de uma unidade de abastecimento pode significar ocorrência de vazamentos.

A perda noturna é calculada pela diferença entre o valor obtido pela medição da vazão mínima noturna ($Q_{\text{MIN NOT}}$) e o valor devido ao consumo noturno e as perdas inerentes (Q_L). De posse desse valor pode-se determinar as perdas reais para 1 (um) dia inteiro utilizando-se um fator de correção diário, que leva em conta a variação das pressões no sistema ao longo das 24 horas através da equação:

$$Q \text{ PERDAS} = (Q_{\text{MIN NOT}} - Q_L) \times \text{FND}$$

Sendo:

Q_{PERDAS} = Vazão Média das Perdas Reais Diárias, em m^3/dia ;

$Q_{\text{MIN NOT}}$ = Vazão Mínima Noturna Média do Período Amostrado, em m^3/hora ;

Q_L = Vazão de Usos ou Consumos Legítimos Médios no horário da mínima noturna (m^3/hora);

FND = Fator de Correção, ou Fator Noite Dia, que depende das pressões médias do setor e do parâmetro N1.

Entretanto observa-se que em locais onde o abastecimento é irregular e/ou há demanda reprimida, o consumo noturno não fornece dados confiáveis sobre perdas. A distorção que ocorre é que, devido à falta de água durante o dia, há um consumo elevado durante a noite, o que pode dar a falsa impressão de problemas de vazamentos (Gonçalves e Alvim, 2007). Estas características inerentes ao método lhe garantem alta confiabilidade em seus resultados, se for corretamente aplicado.

2.7. CONTROLO DE VAZAMENTOS

As perdas físicas visíveis são facilmente identificadas quando ocorrem em áreas de trânsito de pessoas, que em geral alertam sobre a ocorrência. Porém, quando ocorrem em áreas isoladas com pouco trânsito de pessoas, a constatação do vazamento demora mais e, consequentemente, o volume de perda de água torna-se significativo.

Um vazamento não visível é de mais difícil detecção, sendo necessário, na maioria dos casos o uso de equipamentos específicos como os geofones mecânicos e eletrônicos, as hastes de escuta e os correlacionadores de ruídos. A duração de um vazamento não visível pode ocasionar uma perda significativa de água caso a vistoria para um controle ativo desse tipo de vazamentos não seja feita de forma regular.

Os vazamentos também estão diretamente ligados com a pressão de serviço na rede, não só pelo aumento direto da vazão em um orifício de seção constante, como sendo também a causa do aumento dos orifícios, em tubulações de pvc ou polietileno, pela carga piezométrica atuante, agravando assim o problema. Além disso, a ocorrência de vazamentos, aumenta a pressão na rede e esta é responsável por surgimento de novos pontos de vazamento.

A rapidez e qualidade das reparações efetuadas sobre os vazamentos detetados na rede, são fundamentais, pois permitem a diminuição do volume de perdas e a garantia de que este se mantém em níveis controlados. Segundo Tardelli Filho (2004) por razões práticas, por exemplo, tempo do conhecimento do vazamento até o efetivo reparo, e econômicas, por exemplo, limitações quanto à logística e o aparato tecnológico, é impossível garantir perda zero no sistema de abastecimento de água.

O controlo de vazamento depende efetivamente de um programa de gerenciamento de vazamento proativo que inclui meios para identificar vazamentos ocultos, otimizar funções de reparo, gerenciar níveis excessivos de pressão de água e atualizar a infraestrutura de tubulação antes que sua vida útil termine.

Para se ter o controlo dessas perdas e se conhecer os volumes de água utilizados nos processos de operação, são necessárias, entre outras ações, a monitorização através de medições quase em tempo real. Tecnologias eficazes foram desenvolvidas nos últimos anos permitindo que as concessionárias de água identifiquem, meçam, reduzam ou eliminem vazamentos de uma maneira que seja consistente com seus custos.

As tecnologias da Internet das Coisas (IoT) – entende-se por objetos físicos, veículos, prédios e outros que possuem tecnologia aplicada, sensores e conexão com a rede e são capazes de coletar e transmitir dados – em conjunto com as tecnologias e ferramentas de *Business Intelligence* fornecem novos recursos para analisar, automatizar, corrigir quase em tempo real, prever e minimizar riscos.

Eles têm o poder de ajudar as empresas de água a enfrentar muitos dos seus desafios, incluindo prolongar a vida de ativos envelhecidos, reduzir vazamentos, identificar a utilização não autorizada ou outras anormalidades na rede de distribuição, melhorando o monitoramento da qualidade da água, níveis de serviço e confiabilidade de fornecimento. Além disso, a utilização dessas tecnologias, promove a conservação da água e o aumento da receita por meio de eficiências operacionais.

3. BUSINESS INTELLIGENCE

Existem inúmeras definições para Business Intelligence (BI). De acordo com Wayne W. Eckerson, diretor do "Research and Services for The Data Warehousing Institute (TDWI)", BI é um termo genérico que engloba uma grande quantidade de *data warehousing* e tecnologias de integração de dados, além de ferramentas de consulta, relatórios e análise que cumprem a promessa de oferecer aos usuários de negócios acesso autônomo às informações.

Cindi Howson (2008) acredita que "o BI permite que pessoas de todos os níveis de uma organização acessem, interajam e analisem dados para gerir os negócios, melhorar o desempenho, descobrir oportunidades e operar com eficiência".

Algumas das funções comuns de BI estão representadas no diagrama a seguir:



Figura 8 - Funções relacionadas ao Business Intelligence. Fonte: Popeangã e Lungu (2012)

3.1. PLATAFORMA DE BI

O ambiente de BI é composto por um sistema de fonte de dados, cujos elementos principais são as bases de dados transacionais (OLTP), um processo de extração, transformação e carregamento de dados (ETL), onde os dados são carregados no DW e termina num conjunto de ferramentas de análise e visualização dos dados que são alimentadas a partir do DW. Estas ferramentas podem usar vários tipos de tecnologia como *Online Analytical Processing* (OLAP) e utilizar metodologias como *Data Mining* com o objetivo de identificar padrões e relacionamentos dos dados ou simplesmente disponibilizar a informação diretamente aos relatórios através de consultas, permitindo a exibição clara e concisa de dados com capacidade analítica completa. Este ambiente está representado na figura 9 a seguir:

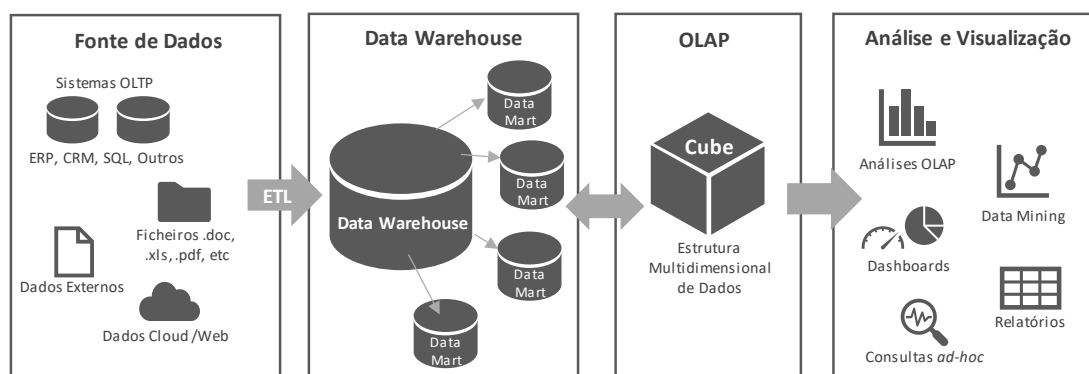


Figura 9 - Arquitetura geral da plataforma de BI

3.1.1. PROCESSO DE ETL (EXTRACT, TRANSFORMING AND LOAD)

Uma das operações mais importantes e que consome mais tempo no processo de *data warehousing* é a extração, transformação e carregamento de dados, denominado por ETL (*Extract, Transform and Load*) e engloba um conjunto de procedimentos divididos por três tarefas principais (Kimball e Ross, 2013):

- **Extração:** a primeira tarefa a ser executada é uma importante recolha de dados nas mais diversas fontes e diversos formatos (sistemas ERP, arquivos TXT ou ficheiros Excel).
- **Transformação:** Depois de extraídos, é preciso assegurar a integridade e qualidade dos dados antes de carregá-los nos repositórios de dados. Dessa forma são realizados diversos processos de transformações como limpezas, correções, classificações e padronização a fim de garantir que os valores de um mesmo objeto estão no mesmo formato ou garantir a consistência entre os objetos. Nesta fase também podem ser realizadas operações como a remoção dos dados que não interessam passar para a DW e a criação de tabelas agregadas.
- **Carregamento:** A última tarefa consiste em carregar esses dados transformados em repositórios que armazenam os dados (*Data Warehouse ou Data Marts*).

Um exemplo deste tipo de ferramentas é *Microsoft Integration Services*, que permite criar *scripts*¹ com instruções para a execução do processo ETL.

3.1.2. DATA WAREHOUSE

Um dos principais elementos de BI é o Data Warehouse (DW). O DW é um repositório de dados onde os dados relacionais são organizados e estruturados a fim de suportar os processos de consulta, análise e decisão da empresa. Segundo Inmon (2005) um DW deve apresentar as seguintes características:

Orientado por assunto: os dados devem ser organizados por assunto/tema do negócio contendo as informações importantes para as decisões de negócio relacionadas a esse assunto.

¹ Em tecnologia da informação, um *script* é um conjunto de instruções em código, ou seja, escritas em linguagem de computador.

Integrado: deve ser atribuída uma representação única a todos os dados provenientes dos diversos sistemas operacionais. Inconsistências relacionadas às unidades de medida ou conflito de nomenclaturas por exemplo, devem ser resolvidos na construção do DW.

Não Volátil: os dados presentes no DW nunca são atualizados, quando há uma atualização devem ser inseridos novos dados. O objetivo é além de manter a integridade, possibilitar a análise do que ocorreu.

Variante no tempo: para descobrir tendências, previsões e comparações é necessário que os dados sejam armazenados ao longo do tempo, através do registo da data de transação.

Na metodologia de Kimball, o DW é a plataforma para o BI, desde a extração da informação, ao software e as aplicações que a compõem (Kimball et al., 2011). O DW é um conjunto de dados produzidos para o suporte à tomada de decisão, sendo também um repositório de dados históricos e correntes, fornecendo um potencial de informação aos gestores de toda a organização.

De acordo com Kimball e Ross (2013), existem alguns objetivos e requisitos essenciais no desenvolvimento e criação de uma solução de BI/DW, onde destacam-se:

- Estar organizado de forma a tornar fácil o acesso a informação e o conteúdo deve ser facilmente compreendido de um modo intuitivo;
- A informação deve ser apresentada de uma forma consistente, os dados devem ser credíveis e a mesma deve ser segura para a tomada de decisão;
- O sistema deve se adaptar às necessidades dos utilizadores, às mudanças de tecnologias e do negócio e tecnologia;
- Deve ser seguro, com acessos controlados e a informação protegida;
- Apresentar a informação em tempo útil.

O principal objetivo do desenvolvimento de uma solução de BI é permitir um acesso interativo aos dados e à sua manipulação, através de um conjunto de tecnologias e processos, suportando uma condução fácil e apropriada da informação a todos os elementos e níveis da organização.

3.1.3. MODELAGEM DIMENSIONAL

Nos sistemas operacionais, conhecidos por sistemas OLTP (*Online Transactional Processing*), a técnica adotada para a modelagem de dados é a de modelação de Entidade-Relacionamento. Esta técnica baseia-se em diagramas para descrever as entidades envolvidas num determinado domínio organizacional, os atributos (caraterísticas) e a forma como se relacionam entre si (relacionamentos).

O modelo de Entidade-Relacionamento evita a redundância dos dados, pelo fato de utilizarem a normalização das tabelas. Normalmente são eficientes para sistemas que manipulam dados operacionais. Porém, não é o mais apropriado para sistemas de apoio à decisão (SAD), onde o carregamento dos dados e a eficiência na consulta são fundamentais. Neste sentido, normalmente, num *Data Warehouse* os dados são modelados com base na modelagem dimensional.

De acordo com Kimball e Ross (2013), a modelagem dimensional é uma técnica antiga para simplificar a construção e estruturação da base de dados da DW, que permite fácil navegação, visualizações dos

dados sob diversas perspectivas, rapidez e eficiência na entrega dos resultados além de garantir uma maior compreensão dos dados por parte dos utilizadores.

O princípio básico é a divisão dos dados em fatos e dimensões. Fatos são registos de um acontecimento, como por exemplo o registo de uma venda. Possuem medidas e podem ser agregados (soma do valor de todas as vendas). As dimensões descrevem os fatos, contextualizam o registo. É uma unidade de análise que agrupa dados de negócio relacionados, ou seja, é descrita por um conjunto de atributos textuais. Por exemplo, no registo de uma venda, temos o produto, as características do produto, a data do registo dentre outros.

O modelo dimensional é concebido com base numa ou mais tabelas de fatos, onde os dados são agregados na tabela de fatos em função da granularidade definida no modelo. As tabelas de fatos são constituídas por um conjunto de chaves estrangeiras e medidas. As chaves estrangeiras são originárias das tabelas de dimensão, onde se encontram as entidades. As medidas, também denominadas por métricas, são os atributos numéricos que representam um facto.

Existem alguns modelos dimensionais, que dependendo da dimensão, da complexidade da arquitetura do sistema fonte e da análise que se pretende realizar, podem ou não ser utilizados na construção de uma DW. Os principais modelos são:

Star Schema: neste modelo, todas as tabelas relacionam-se diretamente com uma tabela central (tabela de fatos) e a chave primária desta tabela será a junção das chaves primárias de todas as entidades componentes associadas (dimensões). As tabelas de dimensões, são formadas pela entidade componente e as entidades de classificação (atributos) necessários para análise e estes podem estar em hierarquia, permitindo a navegação pelos atributos de uma forma otimizada.

Snowflake Schema: é baseado no mesmo conceito relacional do *star schema* - as tabelas dimensionais relacionam-se com a tabela de fatos - a diferença é que algumas dimensões relacionam-se apenas entre elas, isto ocorre para fins de normalização das tabelas dimensionais, visando diminuir o espaço ocupado por estas tabelas.

Terraced Schema: este modelo é obtido criando uma tabela para cada entidade existente do sistema transacional. As tabelas possuem as mesmas chaves primárias relativamente ao modelo relacional e não são aplicadas operações de agregação.

Flat Schema: é o modelo mais simples, permite a construção de um modelo sem que exista a perda de dados. Não utiliza agregações, provocando normalmente, um aumento dos atributos e a redundância destes. Por outro lado, diminui a complexidade relacional e aumenta a complexidade de cada tabela.

Cada modelo tem as suas características, a escolha do modelo será aquela que melhor se adapta às necessidades. O *star schema*, proposto inicialmente por *Ralph Kimball*, é a abordagem mais utilizada no modelo dimensional. É uma estrutura simples, com poucas tabelas e com relacionamentos bem definidos. Além disso, assemelha-se ao modelo de negócio, facilitando a leitura e entendimento por todos.

Existem duas metodologias mais comumente utilizadas para o desenho do modelo dimensional: “*Kimball’s 4-step approach*” e “*Moody and Kortink methodology*”.

A proposta das 4 etapas de *Kimball* é baseada mais no bom-senso do que em regras e etapas formais, o foco é o resultado e não o método. As 4 etapas consistem em: escolher o processo de negócio, definir a granularidade do modelo, escolher as dimensões apropriadas e identificar os fatos que serão medidos no modelo.

Por outro lado, a metodologia de *Moody e Kortink* foca no processo técnico, é baseada em regras e é bastante objetiva. As 3 etapas obrigatórias do método são: classificar as entidades no modelo relacional original (Transacional, Componente ou Classificação), identificar as hierarquias presentes e construir o modelo escolhendo o esquema baseado no nível de redundância e complexidade.

3.1.4. CUBO MULTIDIMENSIONAL

O cubo é uma estrutura que armazena os dados de negócio em diversas dimensões. Os cubos fornecem a capacidade de cálculos complexos, padrões e tendências importantes para o auxílio de tomadas de decisão nas organizações, permitindo a realização de uma análise multidimensional dos dados.

Estes cubos, também conhecidos por cubos OLAP (*Online Analytical Processing*) são constituídos por um conjunto de medidas agregadas (cálculos), pela tabela fato e pelas tabelas de dimensão. Dentro de cada dimensão, os dados podem ser organizados numa hierarquia que define diferentes níveis de detalhe representando as possíveis formas de visualizar e consultar os dados.

A implementação de um Cubo OLAP permite uma análise multidimensional dos dados do *Data Warehouse*, possibilitando o acesso, visualização e análise dos dados com maior flexibilidade e performance. Através de navegação e pesquisa fácil, o OLAP apresenta informações de forma natural e intuitiva aos utilizadores finais que podem rapidamente analisar inúmeros cenários, gerar relatórios *ad-hoc*, e descobrir tendências e factos relevantes independentemente do tamanho, complexidade e fonte dos dados corporativos.

Estas análises podem ser realizadas através das seguintes funcionalidades (Subotić et al., 2011):

Drill down: permite navegar dos dados agregados mais generalizados para os mais detalhados (ex.: de um continente para os países). O utilizador pode aumentar o nível de detalhe ao longo de uma ou mais hierarquias da dimensão. O seu objetivo é fornecer uma visão mais pormenorizada dos dados que estão a ser analisados.

Roll up: também denominado por *Drill up*, representa a operação oposta ao *Drill Down*, ou seja, ir dos dados menos agregados para os mais agregados. O utilizador pode diminuir o nível de detalhe dos dados, o que corresponde a um aumento do nível da agregação dos dados (granularidade).

Slice and Dice: estas funcionalidades permitem a restrição da informação a visualizar. O corte (*Slice*) permite seleccionar uma parte do cubo de dados, sendo uma das dimensões limitada aos dados que obedecem a determinada condição (ex. visualizar dos dados de uma determinada cidade). A redução (*Dice*) permite a definição de um subconjunto de dados para o qual podem ser especificados critérios de seleção para duas ou mais dimensões.

Pivot (Rotate): reorienta a visão multidimensional dos dados, ou seja, roda os eixos de visualização dos dados, disponibilizando uma nova perspectiva de análise dos mesmos.

3.1.5. OLAP (*ONLINE ANALYTICAL PROCESSING*)

O OLAP é um processo ou arquitetura que possibilita análises complexas, multidimensionais, geralmente, através de interfaces gráficas de dados. É frequentemente utilizado para integrar e disponibilizar informações contidas em bases de dados operacionais, sistemas ERP e CRM e *Data Warehouses*.

A arquitetura de sistemas OLAP está estruturada em três componentes principais:

1. Base de Dados: é a fonte de dados utilizada para uma análise OLAP. Podendo ser uma base de dados relacional, uma *Data Warehouse*, uma estrutura de base de dados multidimensional, entre outras.
2. Servidor OLAP: realiza a ligação entre a base de dados e um cliente OLAP, onde é feita a gestão da estrutura multidimensional dos dados.
3. Cliente OLAP: é representado pelas aplicações *front-end*² que contém as ferramentas necessárias para consulta, exploração, mineração, análise e visualização dos dados.

A arquitetura de um sistema OLAP pode variar consoante o tipo de base de dados utilizado para as análises e consultas de dados. Através dessas variações surgiram as principais arquiteturas dos servidores dos sistemas OLAP que se seguem (Cramer, 2006):

○ **ROLAP (*Relational Online Analytical Processing*)**

Nesta arquitetura, os servidores acedem os dados armazenados em uma base de dados relacional. Estes servidores suportam extensões para SQL e métodos de acesso e de execução para implementar de forma eficiente o modelo de dados multidimensional e as operações pretendidas.

Nesta arquitetura as consultas são enviadas para o servidor de base de dados relacional, sendo processadas no mesmo, ou seja, o cubo de dados é mantido no servidor.

A principal vantagem de ROLAP é a escalabilidade em lidar com grandes volumes de dados. Porém, apresenta um baixo desempenho, podendo as consultas serem demoradas caso exista um número elevado de utilizadores a acederem em simultâneo. Exemplo de motores ROLAP incluem o comercial IBM Informix Metacube³ e o servidor Microstrategy DSS⁴, e o produto *open source* Mondrian⁵.

○ **MOLAP (*Multidimensional Online Analytical Processing*)**

A arquitetura de MOLAP concentra-se no pré-cálculo dos dados transacionais para as agregações, ou seja, calcula e armazena medidas agregadas de todos os níveis hierárquicos no momento de carregamento.

² Front-End é a primeira camada com a qual nos deparamos ao aceder um site, uma intranet ou mesmo um sistema web, onde encontramos a interface de navegação.

³ <http://www.ibm.com>

⁴ <http://www.microstrategy.com>

⁵ <http://www.mondrian.sourceforge.net>

Os servidores armazenam diretamente dados multidimensionais em estruturas de dados especiais como matrizes (*arrays*) e implementam as operações OLAP sobre estas estruturas resultando numa execução de consulta rápida. O utilizador trabalha e manipula os dados do cubo diretamente no servidor.

Esta arquitetura possibilita a execução de cálculos complexos e apresenta um alto desempenho. Porém é limitada em relação à quantidade de dados, tem baixa escalabilidade e exige investimentos altos, sobretudo na projeção de cubos. Exemplo de produtos MOLAP são o comercial Hyperion Ebase⁶, o Applix TM1⁷ e o produto open source Palo⁸.

- **HOLAP (*Hybrid Online Analytical Processing*)**

A arquitetura híbrida, como o próprio significado do nome, combinam a arquitetura dos servidores ROLAP e MOLAP de modo a aproveitar as melhores características de cada uma delas: a escalabilidade do ROLAP e o alto desempenho de consulta do MOLAP. O utilizador pode decidir que uma parte dos dados serão armazenados no ROLAP e outra parte numa base de dados multidimensional no MOLAP.

Apesar de apresentar muitas vantagens, a implementação dessa solução tem o custo mais alto dentre as outras arquiteturas existentes. Exemplo de um produto que suporta os três tipos de arquiteturas é o Microsoft OLAP Services⁹.

- **DOLAP (*Desktop Online Analytical Processing*)**

DOLAP é uma arquitetura desktop do OLAP que permite ao utilizador emitir uma consulta de uma máquina cliente para o servidor, sendo que este retorna um microcubo de dados respetivo de volta, possibilitando a análise do mesmo. O processamento da informação é realizado na máquina cliente, e não no servidor. Ao servidor compete garantir a integridade dos dados e atualizar os cubos de dados existentes. O utilizador pode transferir para o seu computador uma cópia da base de dados multidimensional na sua totalidade ou em partes, bem como aceder a um repositório de dados e trabalhar esses dados localmente.

Esta arquitetura reduz o tráfego na rede, melhora o desempenho do servidor de base de dados e é mais fácil de implementar. Todavia não oferece tantas funcionalidades quando comparado às outras arquiteturas.

- **WOLAP (*Web Online Analytical Processing*)**

Na arquitetura WOLAP os dados OLAP são acedidos através de um web browser retornando a respetiva informação por páginas web para ser analisada. Os sistemas que apresentam esta arquitetura são compostos por três componentes: um cliente, um *middleware* e um servidor de base de dados. A evolução das tecnologias web têm possibilitado às empresas de software, que desenvolvem ferramentas para OLAP, integrarem nas suas suites uma plataforma web, de modo

⁶ <http://www.hyperion.com>

⁷ <http://www.applix.com>

⁸ <http://www.opensourceolap.org>

⁹ <http://www.microsoft.com>

os clientes poderem ter acesso aos dados através de um web browser não sendo necessária a instalação de um software na máquina cliente.

As principais vantagens deste tipo de arquitetura são o baixo custo do sistema e da sua manutenção, maior acessibilidade e facilidade de instalação, de configuração e de implementação. Exemplos de ferramentas WOLAP são: SpagoBI¹⁰, Pentaho BI suite¹¹, Vanilla¹² e Palo¹³.

3.2. REAL-TIME BUSINESS INTELLIGENCE

De acordo com o Dr. Richard Hackathorn, criador da Curva de Tempo-Valor, “o valor dos dados é diretamente proporcional à rapidez com que um negócio pode reagir a ele. Em outras palavras, uma corporação perde dinheiro toda vez que demora a colocar a informação nas mãos dos tomadores de decisão”. A latência é o atraso temporal entre o momento de uma iniciação de evento e o momento em que uma ação é tomada para responder a esse evento.

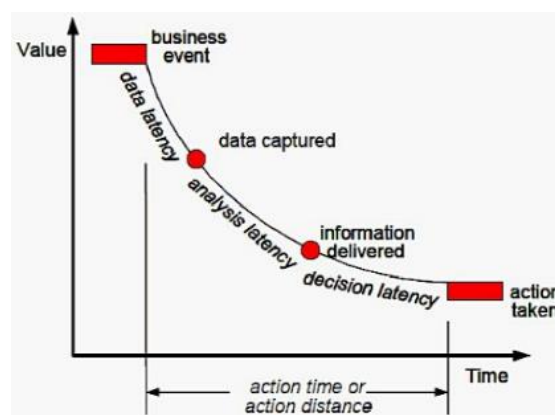


Figura 10 - Curva de latência tempo-valor - Fonte: Dr. Richard Hackathorn

Existem três tipos de latência em um processo de tomada de decisão, Sandu (2008):

- Latência de dados - o período de tempo necessário para coletar os dados dos sistemas de origem, prepará-los para análise e salvá-los no *data warehouse* ou *data centers*;
- Latência analítica - o período de tempo necessário para aceder e analisar os dados, para transformar os dados em informações, para aplicar as regras de negócios.
- Latência decisional - o período de tempo necessário para rever a análise, decidir a ação a ser tomada e implementar a ação.

O grau de latência em um sistema de BI é uma das questões mais importantes, porque os executivos e analistas de negócios simplesmente querem que esses sistemas forneçam as informações certas, no formato certo e para as pessoas certas, no momento certo, para que possam tomar decisões de negócios ideais.

¹⁰ <http://www.spagobi.org>

¹¹ <http://www.pentaho.com>

¹² <http://www.bpm-conseil.com>

¹³ <http://www.jedox.com>

O Real-Time Business Intelligence é o processo de fornecer informações sobre as operações de negócios à medida que elas ocorrem, com latência mínima. Ou seja, é minimizar o tempo decorrido entre o evento de negócios e a ação corretiva ou a notificação iniciada.

Um sistema de BI em tempo real é baseado em um ETL em tempo real e em uma DW em tempo real. Também conhecido como *Data Warehouse* ativo, o DW em tempo real é uma combinação de tecnologias rápidas e processos de negócios de ritmo acelerado.

Enquanto o BI tradicional apresenta dados históricos para análise manual, o BI em tempo real compara eventos de negócios atuais com padrões históricos para detectar problemas ou oportunidades automaticamente.

A indústria das *utilities* é extremamente sensível ao tempo de resposta. No caso da ocorrência de uma fuga de água por exemplo, cada minuto custa não só o dinheiro para o consumidor, quanto o desperdício de litros de água para o meio ambiente. Dessa forma, a solução de BI em tempo real poderá contribuir de forma efetiva na busca de um mundo mais sustentável.

3.3. BUSINESS INTELLIGENCE NO SETOR DAS UTILITIES

No ambiente competitivo de hoje, com inovação rápida em medidores inteligentes e redes inteligentes, há uma necessidade crescente de *business intelligence* no setor das *utilities* (água, energia e gás). Dando o fato de que esta indústria é um ambiente onde as decisões são sensíveis ao tempo, as soluções de *BI* ajudarão as empresas do setor tanto a melhorar suas eficiências operacionais e as experiências dos consumidores, quanto com a sustentabilidade do meio ambiente.

Ao longo das últimas décadas, houve um drástico aumento do consumo de energia e água. A OMS (Organização Mundial da Saúde) relata que, pela primeira vez, a maioria da população mundial vive em uma cidade, e essa proporção continua a crescer com projeções de 70% até 2050. O aumento do consumo de água e energia significa aumento de custos, mais emissões de CO₂ e consequentemente uma redução dos recursos não renováveis. A fim de contrariar esse cenário, estão sendo tomadas medidas para reduzir o consumo e utilizar mais energia de fontes renováveis.

3.3.1. “SMART GRID” E “SMART WATER”

À medida que as cidades ao redor do mundo experimentam esse crescimento explosivo, a necessidade de garantir que elas possam se expandir de maneira sustentável, operar eficientemente e manter uma alta qualidade de vida para os residentes se torna ainda maior do que é hoje, explica Leinmiller (2017), justificando a crescente tendência do termo “*Smart City*” para atender à todas as necessidades do futuro.

De acordo com Leinmiller (2017), as cidades inteligentes abrangem seis setores importantes que precisam trabalhar em sintonia para alcançar o objetivo comum de tornar uma cidade mais habitável, sustentável e eficiente para seus moradores. Estes setores são: energia inteligente, integração inteligente, serviços públicos inteligentes, mobilidade inteligente, edifícios inteligentes e água

inteligente. No contexto da indústria das *utilities* estão inseridos dois desses setores: “*Smart Energy*” e “*Smart Water*”.

A evolução dos sistemas de energia com a modernização dos sistemas de transmissão e distribuição de energia incluindo medidores inteligentes, aparelhos inteligentes, recursos energéticos renováveis e recursos energeticamente eficientes, em conjunto com o crescimento da utilização da informação digital para monitorizar a rede elétrica e garantir para o consumidor, o menor custo potencial, maior confiabilidade do serviço e alta qualidade de energia, introduzem um novo conceito na gestão da energia: “*Smart Grid*”.

O termo *smart grid* tem sido frequentemente utilizado nos últimos anos para atender os desafios que os países enfrentam como a demanda crescente por energia elétrica, a necessidade de aumentar a eficiência energética, o fornecimento de energia de alta qualidade, monitorização do consumo e integração dos recursos renováveis para o desenvolvimento sustentável.

O *smart grid* fornecerá um grande volume de dados de sensor e medidores que requer análises inteligentes e aprofundadas de gestão de dados, consultas e relatórios.

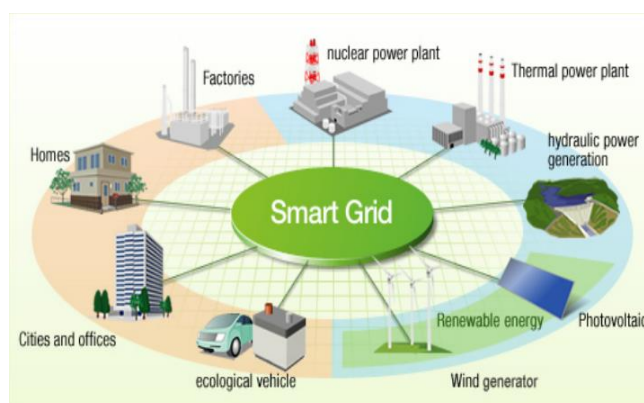


Figura 11 - Smart Grid. Fonte: Popeangã e Lungu (2012)

No mesmo caminho, as empresas de água de hoje enfrentam uma variedade de desafios, incluindo a diminuição do abastecimento de água, o aumento da população e o aumento de poluentes. Utilizar técnicas eficazes de gestão dos serviços é crucial para o uso eficiente da água, bem como para os esforços de conservação. O termo "*smart water*" aponta para a infraestrutura de água e esgoto que garante que esse recurso precioso - e a energia usada para transportá-lo - seja gerenciado de forma eficaz. Um sistema de água inteligente é projetado para coletar dados significativos e acionáveis sobre o fluxo, a pressão e a distribuição da água de uma cidade. Além disso, é essencial que o consumo e a previsão do uso da água sejam precisos.

Do ponto de vista da evolução digital, o setor de energia é um ótimo exemplo. Iniciaram a implantação de medidores inteligentes há mais de 10 anos. Hoje, mais de 50% dos lares americanos e europeus são “inteligentes”. As concessionárias de água podem se beneficiar das lições aprendidas e das melhores práticas estabelecidas desde a implantação desses dispositivos inteligentes até a realização de benefícios. Há também um potencial para alcançar um patamar mais alto, já que a tecnologia evoluiu, os preços dos dispositivos inteligentes diminuíram e a funcionalidade aumentou.

“*Smart Water*” é realmente sobre como estabelecer as bases para as concessionárias começarem a aplicar a ciência de dados e técnicas de inteligência aumentada aos problemas de negócios. Essa

representação virtual do sistema de água possibilitará o conhecimento situacional ou monitoramento de fluxo e qualidade quase em tempo real, que tem grande potencial para resolver muitos dos desafios enfrentados pela indústria.

As métricas de inteligência de negócios e desempenho possuem um papel importante na criação desse processo eficiente de consumo de água, que depende do uso da tecnologia digital para otimizar as operações. Isso inclui métricas como satisfação do cliente, otimização operacional, sustentabilidade da comunidade, estabilidade da infraestrutura e inúmeros outros fatores.

3.3.2. A TECNOLOGIA APLICADA ÀS UTILITIES

Nos próximos anos, espera-se que o setor das *utilities* seja uma das indústrias que mais irá crescer no que diz respeito à adoção da tecnologia de *business intelligence*. Popeangã e Lungu (2012) citam que a IDC Energy Insights no relatório de 2011 “*Utility Industry Survey on Business Intelligence/Analytics*”, expôs a necessidade crítica para o setor usar as soluções de *BI* para apoiar processos de automação, a fim de tomar melhores decisões e permitir que os clientes possam gerir os seus estilos de vida. No final de 2013, o estudo “*Utilities and Big Data: Using Analytics for Increased Customer Satisfaction*” da Oracle, enumera diversas áreas nas quais as concessionárias podem concentrar seus esforços analíticos para desenvolver respostas proativas, em vez de reativas, às necessidades dos clientes. Como por exemplo:

- gestão da faturação excepcionais: monitorizar as faturas/consumos a fim de identificar problemas
- suporte de atendimento ao cliente: disponibilizar dados e informações que suportem as questões do cliente
- segurança: detetar fugas de gás

De acordo com o artigo do SAS, “*Utility analytics in 2017: Aligning data and analytics with business strategy*” a partir de meados dos anos 2000, as concessionárias iniciaram a implementação de grandes redes inteligentes e infraestruturas de medidores inteligentes. Estes sistemas geraram elevados volumes de dados para o setor. A partir de então os desafios deixaram de ser apenas técnicos, e tornaram-se também organizacionais indicando a necessidade de estabelecer uma estrutura organizacional formal - centralizada ou descentralizada - para gerir, desenvolver e catalogar projetos analíticos.

As novas tecnologias têm o potencial de gerar resultados significativos para o setor das *utilities*. À medida que as capacidades tecnológicas avançam, também aumenta a capacidade de coletar informações de dispositivos remotos e correlacionar essas informações entre diversos sistemas para ajudar a alcançar uma percepção quase em tempo real. A análise cognitiva está no cerne da capacidade de derivar valor acionável desses dados e executar ou automatizar a próxima ação com base na ciência de dados preditiva e prescritiva.

Assim, as soluções de ferramentas de *business intelligence* suportam o crescimento e sucesso das empresas do setor, auxiliando os utilizadores nos processos de recolha e análise dos dados a fim de monitorizar o consumo, prever a demanda, promover a conservação dos recursos ou aumentar a receita por meio de eficiências operacionais por exemplo.

4. SOLUÇÃO DE BI PARA MONITORIZAÇÃO DO CONSUMO DA ÁGUA

As cidades ao redor do mundo estão crescendo de forma constante e exponencial, passando a ser cada vez mais relevante a necessidade de garantir que elas possam se expandir de maneira sustentável. Sendo a água um dos recursos fundamentais para a sobrevivência da humanidade, um consumo consciente é uma das formas de assegurar benefícios em curto, médio e longo prazo na questão da sustentabilidade da água.

A monitorização do consumo de água é uma ferramenta que pode auxiliar o uso eficiente da água de duas maneiras: identificando vazamentos através da análise das vazões de água em tempo quase real ou identificando padrões de consumo acima de um consumo sustentável para atuar na sensibilização de um uso consciente e sem desperdícios.

Nos tópicos a seguir será apresentado um modelo para construção de uma solução de *Business Intelligence* que seja capaz de atingir os objetivos da monitorização do consumo de água em ambientes urbanos aplicado ao consumo doméstico.

4.1. NECESSIDADES DO NEGÓCIO

Os dados são a base para qualquer trabalho de análise. Definir quais dados coletar, o período em que os mesmos serão coletados, com que precisão e qual granularidade estes terão, são decisões que irão impactar o resultado de uma análise. A simplicidade é fundamental para garantir que os utilizadores possam facilmente compreender os dados.

A fim de determinar os dados necessários para a construção da solução, é preciso primeiramente entender o negócio e suas necessidades. Saber quais objetivos se pretende atingir, é fundamental para traçar o caminho para alcançá-los.

Diante do problema de desperdício de água, a solução de BI tem como principal objetivo monitorizar o consumo de água nas edificações. Diante desse objetivo, para atender às necessidades da monitorização do consumo, o sistema deverá ser capaz de responder as seguintes questões:

- Qual a vazão do consumo de água no momento da consulta?
- A vazão está dentro de um padrão normal de consumo?
- Qual o volume de água consumido durante uma hora, um dia, mês ou ano?
- Qual o volume de água consumido nos dias de verão, ou nos de inverno?
- Qual o volume de água consumido de acordo com o padrão de vida?
- Qual o comportamento dos clientes depois de um período chuvoso?
- Quais são as características de um prédio que influenciam no consumo de água (piscina, jardins, área de lazer?)
- Qual o montante financeiro desperdiçado durante um vazamento?

A partir dessas questões e das fontes de dados disponíveis deve ser montado o modelo dimensional para o *Data Warehouse* que será utilizado para as consultas.

4.2. FONTE DE DADOS

De acordo com os conceitos visto no capítulo anterior, a solução de BI é composta pelas fontes de dados, um processo de extração, transformação e carregamento de dados (ETL), onde os dados recolhidos de diversas fontes e são carregados no *Data Warehouse* e termina num conjunto de ferramentas de análise e visualização dos dados que são alimentadas a partir do DW.

Na fase de desenvolvimento da recolha dos dados (processo de Extração) é importante ter uma compreensão de quais dados já estão disponíveis, se estes dados são confiáveis e que tipos de dados de medição seriam úteis para a análise em questão.

Num sistema de monitorização de consumo de água, alguns dados são essenciais para atingir os objetivos propostos, sendo os principais:

- Vazão de água: a principal fonte de dados é a base de dados alimentada pelo sensor/medidor que calcula a vazão de água num determinado instante de tempo. Estes equipamentos devem ser instalados na tubulação onde se quer medir a vazão, ou seja, no ponto de controlo do consumo e os dados transmitidos para um servidor onde está o banco de dados que será alimentado com os registos dos valores de vazão com uma frequência de atualização a ser definida de acordo com a necessidade da informação e tipo de medidor.

Um registo dessa fonte de dados deve conter a data, hora exata, a vazão e o código de identificação do medidor.

- Dados dos Clientes: as informações dos dados de cadastro dos clientes são importantes para identificar a localização de um medidor e além disso, obter informações sobre o perfil do consumidor tais como: composição do agregado familiar, renda, idade, dentre outros dados que poderão ser relevantes para as análises futuras.

A fonte utilizada para obtenção desses dados será a base de dados do sistema de cadastro de clientes.

- Edificação: assim como as informações sobre o cliente, também é necessário ter uma tabela com as características relevantes da edificação. Características estas que possam permitir o estudo de relações entre o consumo de água e um determinado atributo como por exemplo: o número de unidades residenciais que estão sendo abastecidas por um reservatório, se há área de lazer (área comum), se há jardim e/ou piscina.

Esta tabela também será obtida da base de dados de cadastro de clientes e os atributos necessários, devem ser definidos de acordo com as necessidades de análise e devem estar definidos na ficha de cadastro do cliente e da edificação.

- Tempo: uma análise sem a alocação no tempo praticamente perde seu valor, quando se trata de vazão de água o tempo torna-se fundamental. Uma vez que a vazão é a relação do volume de água medido por uma unidade de tempo, para sabermos o volume do consumo de água é necessário multiplicar o valor da vazão pelo período de análise (duração). Além disso, diversos indicadores e métricas são calculados em função da comparação com períodos homólogos. Assim sendo, é obrigatório que uma das dimensões da análise seja o tempo.

O nível de hierarquia (pormenorização) dos dados sobre o tempo irá variar com o tipo de análise e métricas. Entretanto de acordo com Falkenberg (2005) algumas variáveis podem apresentar importantes correlações com o consumo e dessa forma é necessário que a tabela com o calendário, além do dia, mês e ano, contenha a identificação de qual o dia da semana (segunda, terça, quarta, etc.), a estação do ano e feriados da cidade onde está localizado o cliente.

Esta tabela poderá ser contruída num simples ficheiro Excel (.xls) que pode conter um grande intervalo de tempo diminuindo a necessidade de atualização do mesmo ou também poderá ser construída nas próprias ferramentas de análise, muitas delas oferecem essa funcionalidade.

- Clima: ainda de acordo com o estudo de Falkenberg (2005), que relacionou diversos fatores que influenciam no comportamento do consumo de água, o clima incluindo a temperatura, condições climáticas (sol, chuva, nublado, ventos e outros) e umidade podem ter uma relação direta ou inversamente proporcional a esses fatores. Dessa forma também será necessário obter uma tabela com as características do clima de acordo com a localização do cliente.

Estes dados serão obtidos em sites com informações oficiais de meteorologia através de uma API (*Application Programming Interface*) que são disponibilizados por diversas empresas e institutos de meteorologia.

4.3. MODELO DIMENSIONAL

Dada às necessidades do processo relacionado ao setor da água, será utilizado o *Star Schema* para o desenvolvimento do modelo dimensional como técnica de construção e estruturação da base de dados da Data Warehouse da solução. Para a construção do modelo é utilizada a abordagem das 4 etapas de *Kimball*:

1. Seleção do processo do negócio: monitorização de consumo de água.
2. Definição da granularidade (menor nível de detalhe) do processo: pode variar de acordo com a unidade de medição da vazão (l/min ou l/seg), da transmissão desses dados e do desempenho do sistema para o processamento dos dados, poderá ser o volume de água consumido a cada 20 segundos, a cada minuto, ou mesmo a cada hora. A fim de garantir uma análise muito próxima do “tempo real” é proposta a utilização da granularidade de registo a cada 15 minutos.
3. Definição das dimensões de análise: para identificar padrões de comportamento ao longo do tempo e poder encontrar relações com as variáveis que podem influenciar o consumo, as dimensões tempo, cliente, localização, edificação e meteorologia devem ser contempladas no modelo dimensional.
4. Identificação dos fatos que serão medidos por este modelo: neste caso, será o montante do volume de água consumido.

4.3.1 TABELA FATO

Os fatos que serão medidos no modelo deverão responder às questões apontadas durante o levantamento das necessidades de negócio. A tabela a seguir define as métricas que estarão disponíveis para as análises do negócio.

Necessidades do Negócio	Métricas	Cálculo
Qual a vazão do consumo de água no momento da consulta?	Vazão (l/m)	Litros/minuto
Qual a vazão habitual do consumo num determinado momento em relação ao período homólogo?	Vazão (l/m)	Litros/minuto
Qual o volume de água consumido durante uma hora, um dia, mês ou ano?	Volume de água (m3)	$(\text{Vazão} * \text{Tempo})/1000$
Qual o volume de água consumido nos dias de verão, ou nos de inverno?	Volume de água (m3)	$(\text{Vazão} * \text{Tempo})/1000$
Qual o volume de água consumido de acordo com o padrão de vida?	Volume de água (m3)	$(\text{Vazão} * \text{Tempo})/1000$
Qual o comportamento do consumo depois de um período chuvoso?	Volume de água (m3)	$(\text{Vazão} * \text{Tempo})/1000$
Quais são as características de um prédio que influenciam no consumo de água (piscina, jardins, área de lazer?)	Volume de água (m3)	$(\text{Vazão} * \text{Tempo})/1000$
Qual o montante financeiro desperdiçado durante um vazamento?	Montante Financeiro (R\$)	$(\text{Vazão} * \text{Tempo})/1000 * \text{Preço}$

Tabela 4 - Levantamento das necessidades do negócio

4.3.2 DIMENSÕES

Uma dimensão contém uma lista de atributos, sendo cada atributo mapeado para uma propriedade numa classe. As dimensões são desnormalizadas e constituídas por uma chave primária, natural ou artificial. São ligadas à tabela de factos através de uma chave estrangeira, estabelecendo uma relação de 1 para N.

Através das dimensões é possível filtrar, agrupar e rotular os dados. Os dados podem ser apresentados num formato no qual são classificados naturalmente, de forma a permitir uma análise mais aprofundada. As dimensões podem também incluir hierarquias naturais, permitindo aprofundar a níveis mais detalhados. As dimensões também são definidas a partir das necessidades do negócio e da granularidade das análises solicitadas. De acordo com o levantamento realizado para o modelo dimensional serão utilizadas as seguintes dimensões:

Dimensão Tempo

A dimensão tempo representa as diferentes granularidades temporais em que os dados podem ser representados, apresentando atributos gerais e outros atributos especiais de acordo com a relação a seguir:

- Gerais: ano, semestre, trimestre, mês, dia, dia da semana e estação do ano
- Especiais: feriado local e feriado nacional

Esta dimensão apresenta uma estrutura hierárquica com 5 níveis: Ano » semestre » trimestre » mês » dia

Dimensão Hora

A dimensão hora será criada para otimizar a dimensão tempo, uma vez que os dados *real time* necessitam de uma granularidade no nível dos minutos, esta dimensão tornará os dados dimensão tempo menos redundantes. Os atributos dessa dimensão serão:

- Hora e minuto

Dimensão Cliente

A dimensão cliente é representada pelos clientes da empresa e apresenta os seguintes atributos:

- Nome, morada, contato, localidade.

Dimensão Edifício

A dimensão edifício representa o tipo de construção onde é monitorado o consumo de água, identificando algumas características dessas edificações. Neste modelo é proposto utilizar os seguintes atributos:

- Classe, tipo de edificação, nº de apartamentos, área de lazer e piscina.

Dimensão Clima

A dimensão clima é representada pelas condições meteorológicas do clima. Apresenta os seguintes atributos:

- Temperatura, umidade e precipitação.

Dimensão Localização

A dimensão localização inclui dados sobre a localização geográfica de um ponto de medição. Esta tabela é constituída pelos seguintes atributos:

- País, estado, cidade, zona e bairro.

Esta dimensão apresenta uma estrutura hierárquica com 5 níveis: País » estado » cidade » zona » bairro

4.3.3 STAR SCHEMA

Na Figura 13, está a representação conceitual do esquema utilizado na modelagem dimensional da *Data Warehouse* dessa solução.

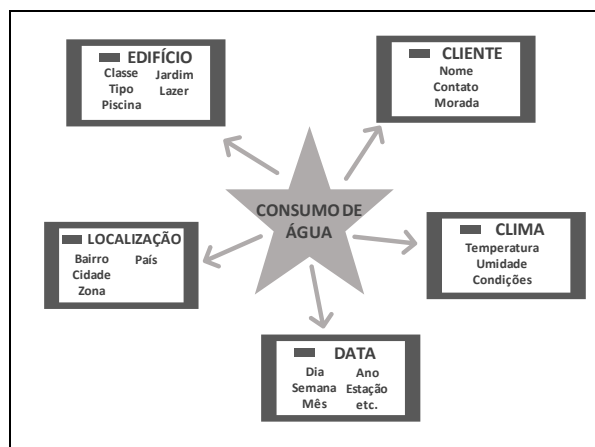


Figura 12 - Star Schema conceitual para monitorização de consumo de água

4.4. DATA WAREHOUSE

Com base no modelo dimensional proposto, o processo de ETL para carregamento dos dados da DW deve ser desenvolvido levando em consideração algumas questões. Uma vez que parte dos dados são valores fixos ou com atualizações pontuais, não é preciso carregar o sistema com processamentos online de informações que não serão atualizadas.

Dessa forma, a solução proposta engloba além da DW principal, o desenvolvimento de um repositório de dados operacionais, onde estarão armazenados os dados de processamento *real time* que serão utilizados para avaliação de vazamentos ou consumos excessivos de água ao mesmo tempo que servirá de fonte de dados da DW (Figura 13).

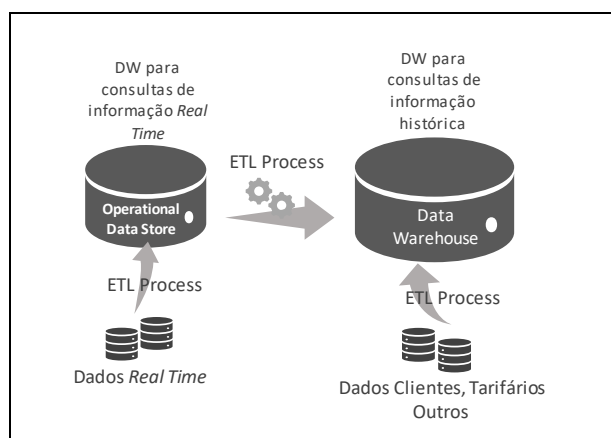


Figura 13 - Esquema de construção da DW

O DW fornecerá suporte ao sistema OLAP, uma vez que integra os dados provenientes de diversas fontes numa única estrutura, permitindo o acesso a sistemas de análise como OLAP.

4.4.1 ETL PROCESS

A implementação deste processo consiste em realizar a extração dos dados considerados mais importantes das fontes de dados definidas e por conseguinte, efetuar a transformação e limpeza desses dados, os quais são devidamente verificados, modelados e reorganizados. Por último estes

dados são carregados nos DW e *Data Marts* e ficam disponibilizados para serem acedidos rapidamente e facilmente.

A figura a seguir exemplifica o processo de extração dos dados dos clientes da base de dados proveniente do cadastro dos clientes para o carregamento da dimensão no DW.

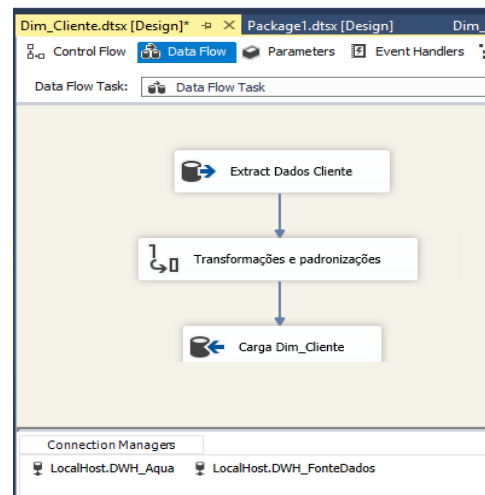


Figura 14 - Processo de extração e carregamento dos dados

4.4.2 ESTRUTURA DA DW

O diagrama da figura 15 a seguir representa o DW principal com a tabela fato do consumo diário e as respectivas dimensões e atributos de suporte à análise.



Figura 15 - Diagrama DW consumo diário

4.5. CUBO OLAP

A implementação de um Cubo OLAP permite uma análise multidimensional dos dados do DW, possibilitando às organizações o acesso, visualização e análise dos dados com maior flexibilidade e performance. O OLAP é frequentemente utilizado para integrar e disponibilizar informações contidas em bases de dados operacionais, sistemas ERP e CRM e *Data Warehouses*. Estas características tornaram-no uma tecnologia essencial em diversos tipos de aplicações de suporte à decisão.

4.5.1 ESTRUTURA DO CUBO

A *Data Source View* permite especificar o conjunto de tabelas e campos que devem ser incluídos no Cubo OLAP. Desta forma, podemos defini-la como um esquema que permite visualizar de que forma as várias tabelas e dimensões da base de dados estão ligadas entre si e às tabelas de factos, assim como ver a informação que cada tabela contém, nomeadamente as chaves e campos que as constituem, ou seja, contém a metadata de um ou mais objetos seleccionados de uma fonte de dados, neste caso do *Data Warehouse*.

O Cubo OLAP será composto pela tabela fato que se encontra ligada às diversas tabelas dimensões através das chaves estrangeiras, como é possível observar na figura 16.

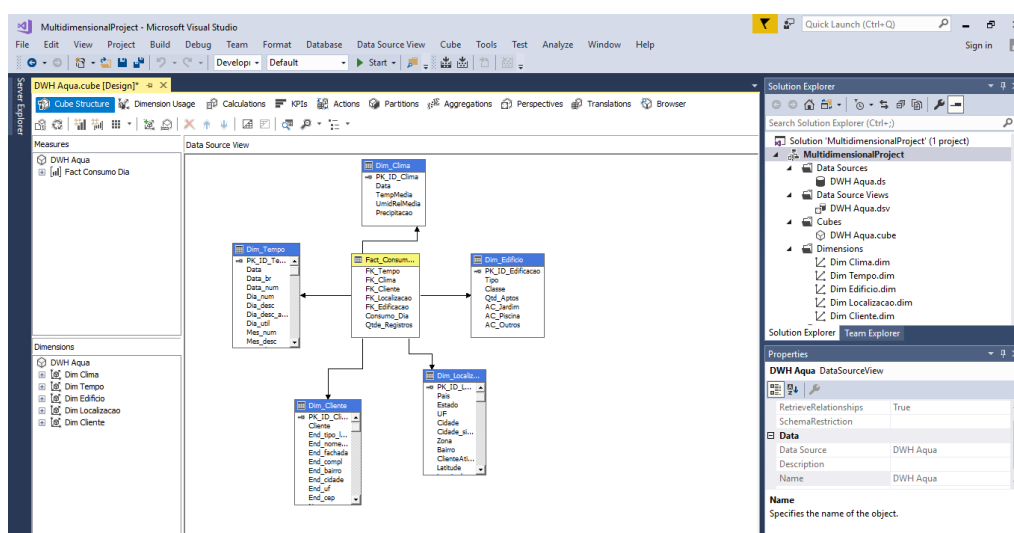


Figura 16 - Data Source View/Cubo OLAP para análise do consumo

As dimensões no cubo podem ser partilhadas com outros cubos da base de dados ou privadas. As dimensões partilhadas podem ser criadas antes ou durante a criação do cubo. As dimensões privadas são criadas no momento da criação do cubo. Assim serão adotadas dimensões partilhadas, pois é possível criá-las tanto antes como depois do cubo, permitindo assim, filtrar, agrupar e organizar os dados. Para além disso, uma das maiores vantagens das dimensões é o facto de uma dimensão no cubo fazer referência a uma dimensão no DW, conseguindo-se assim agregar uma lista de atributos sobre uma determinada regra de negócio. As dimensões são ainda fundamentais para definir os atributos presentes nas tabelas de factos.

Na ilustração a seguir estão representados os campos chave que relacionam a tabela factual e as respectivas dimensões do cubo.

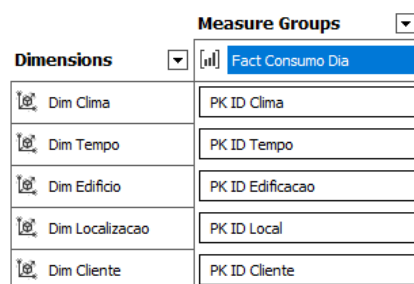


Figura 17 - Dimensões do Cubo

Os elementos que compõem uma dimensão são chamados de atributos. Estas dimensões são responsáveis por dar contexto às medidas (*measures*) contidas no cubo, sendo que em alguns casos podem conter dezenas de atributos. A utilização de um elevado número de atributos pode dificultar a interação do utilizador com a ferramenta de análise. Para facilitar esta navegação, podem ser criadas hierarquias dentro das dimensões.

Assim, cada dimensão do Cubo OLAP contém no mínimo uma hierarquia, que é utilizada para identificar como é que os membros de uma dimensão estão organizados. No esquema a seguir estão representadas as hierarquias das dimensões da Localização e do Tempo, pois no caso do cubo para o consumo de água, apenas essas duas dimensões apresentam parte da estrutura com hierarquia.

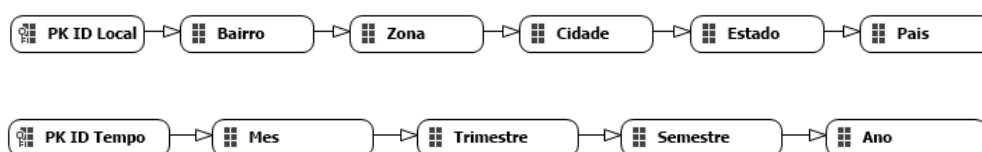


Figura 18 - Hierarquias da Localização e Tempo

4.5.3 MÉTRICAS

Para melhor compreender o negócio e, posteriormente, otimizar a tomada de decisão, é fundamental a criação de métricas para responderem às principais questões de negócio. Estas métricas baseiam-se em funções MDX (*Multidimensional Expressions*) sobre um determinado aspeto do negócio. Cada métrica deve ser definida quanto ao seu tipo de dados e formato.

Para a análise do consumo de água são propostas as métricas da tabela 2 a seguir que auxiliarão na avaliação do desempenho do negócio e performance dos clientes.

NOME DA MÉTRICA	FÓRMULA	DESCRIÇÃO
CONSUMO_TOTAL	SUM([MEASURES].[CONSUMO DIA])	Volume total consumido
QTDE_DIAS	COUNT([MEASURES].[CONSUMO DIA])	Contagem de registos (nº de dias)
CONSUMO_MEDIO	[MEASURES].[CONSUMO TOTAL] / [MEASURES].[QTDE DIAS]	Volume médio consumido num período de tempo
CONSUMO_TOTAL_MNT	[MEASURES].[CONSUMO TOTAL] * (VALOR DA TARIFA)	Valor total do consumo de água num período determinado período de tempo
CONSUMO_TOTAL_PH	SUM(PARALLELPERIOD([DIM_TEMPO].[HIERARCHY].[ANO],1,[DIM_TEMPO].[HIERARCHY].CURRENTMEMBER, [MEASURES].[CONSUMO DIA])	Volume total consumido no período homólogo do ano anterior

NOME DA MÉTRICA	FÓRMULA	DESCRIÇÃO
VAR_CONSUMO_PH	[MEASURES].[CONSUMO TOTAL] - [MEASURES].[CONSUMO_TOTAL_PH]	Variação do volume consumido em relação ao período homólogo do ano anterior
VAR_TOTAL_MNT	[MEASURES].[VAR_CONSUMO_PH] * (VALOR DA TARIFA)	Valor total do consumo de água referente à variação do volume consumido no mesmo período do ano anterior
TX_VAR_CONSUMO	(([MEASURES].[CONSUMO_TOTAL_PH]/[MEASURES].[CONSUMO TOTAL])-1	Percentual da variação do volume consumido em relação ao período homólogo
CONSUMO_PER_CAPITA	[MEASURES].[CONSUMO_MEDIO] / (QTDE DE HABITANTES)	Volume médio consumido por uma pessoa
QTDE_MIN	CASE WHEN ISEMPTY([MEASURES].[Q_CONSUMO_MEDIO]) THEN NULL ELSE (COUNT([MEASURES].[Q_CONSUMO_MEDIO]) END	Total de minutos com registos
Q_MEDIO_15	SUM([MEASURES].[Q_CONSUMO_MEDIO]) / [MEASURES].[QTDE_MIN]	Vazão Média
Q_MEDIO_15_PH_SEM	((PARALLELPERIOD([DIM_TEMPO].[HIERARCHY].[SEMANA],1,[DIM_TEMPO].[HIERARCHY].CURRENTMEMBER, [MEASURES].[Q_MEDIO_15]) + (PARALLELPERIOD([DIM_TEMPO].[HIERARCHY].[SEMANA],2,[DIM_TEMPO].[HIERARCHY].CURRENTMEMBER, [MEASURES].[Q_MEDIO_15]) + (PARALLELPERIOD([DIM_TEMPO].[HIERARCHY].[SEMANA],3,[DIM_TEMPO].[HIERARCHY].CURRENTMEMBER, [MEASURES].[Q_MEDIO_15]) + (PARALLELPERIOD([DIM_TEMPO].[HIERARCHY].[SEMANA],4,[DIM_TEMPO].[HIERARCHY].CURRENTMEMBER, [MEASURES].[Q_MEDIO_15])) / 4	Média da vazão do mesmo instante de tempo das últimas 4 semanas
CONSUMO_Qmin	FILTER(SUM([MEASURES].[Q_CONSUMO_MEDIO]),[DIM_HORA].[HORA]= 3)*60/1000	Volume total consumido entre as 3 e 4 horas da manhã
CONSUMO_Qmin_HIST	AGGREGATE(PERIODSTODATE([DIM_TEMPO].[HIERARCHY].[ANO], [DIM_TEMPO].[HIERARCHY].CURRENTMEMBER, [MEASURES].[CONSUMO_Qmin])/ [MEASURES].[QTDE_DIAS_ANO])	Média histórica do ano atual do total consumido consumido entre as 3 e 4 horas da manhã
QTDE_DIAS_ANO	AGGREGATE(PERIODSTODATE([DIM_TEMPO].[HIERARCHY].[ANO], [DIM_TEMPO].[HIERARCHY].CURRENTMEMBER), [MEASURES].[QTDE_DIAS])	Quantidade de dias do ano atual até o momento
TX_VAR_QMIN	(([MEASURES].[CONSUMO_Qmin] / [MEASURES].[CONSUMO_Qmin_HIST])-1	Percentual da variação do volume consumido em relação ao volume histórico

Tabela 5 - Tabela com as métricas calculadas

4.5.4 KPI's

Os KPI's (*Key Performance Indicators*) são indicadores chave que ajudam a medir e compreender o desempenho e progresso do negócio, analisando os seus objetivos e parâmetros. Permitem ainda saber se é necessário redefinir certos aspetos, de forma a melhorar os resultados obtidos, para otimizar o negócio.

Os KPI's podem dividir-se em dois níveis: de alto e de baixo nível. Os de alto nível têm um foco maior na performance global da empresa, enquanto que os de baixo nível têm um foco departamental como vendas, marketing, entre outros. Na solução proposta será utilizado KPI's de baixo nível para análise dos parâmetros de vazão e consumo de água.


O KPI, VAR_CONSUMO, pretende avaliar a margem de desperdício de água comparando o valor da vazão de consumo atual com o valor de consumo histórico do mesmo instante de tempo do período anterior a fim de avaliar o desperdício de água devido ao alto consumo ou à ocorrência de um potencial

vazamento. O principal objetivo é obter valores maiores que 5% de economia. Este KPI pode tomar os valores -1, 0 ou 1 de acordo com a expressão definida a seguir.

Goal Expression

"Economia de água maior que 5%"

Status

Status indicator:  Gauge

Status expression:

```
CASE
  WHEN [MEASURES].[TX_VAR_CONSUMO] > 1.05 THEN -1
  WHEN [MEASURES].[TX_VAR_CONSUMO] <= 1.05 AND [MEASURES].[TX_VAR_CONSUMO] >= 0.95 THEN 0
  ELSE 1
END
```


Figura 19 - Definições do KPI VAR_CONSUMO

O KPI, CONSUMO_Q_MIN, pretende avaliar a margem de variação do consumo de água do período entre 3 e 4 horas comparando o valor do dia atual com o valor de consumo histórico nesse mesmo horário. O principal objetivo é obter valores inferiores a 3%. Este KPI pode tomar os valores -1, 0 ou 1 de acordo com a expressão definida a seguir.

Goal Expression

"Não há vazamento potencial"

Status

Status indicator:  Gauge

Status expression:

```
CASE
  WHEN [MEASURES].[TX_VAR_Qmin] >= 10 THEN -1
  WHEN [MEASURES].[TX_VAR_Qmin] > 3 AND [MEASURES].[TX_VAR_Qmin] < 10 THEN 0
  ELSE 1
END
```


Figura 20 - Definições do KPI CONSUMO_Q_MIN

O KPI, CONSUMO_CONSCIENTE, pretende avaliar a média do consumo por pessoa em relação aos valores recomendados pela Organização das Nações Unidas (ONU), que afirma que uma pessoa precisa de apenas 110L por dia para atender às suas necessidades. O principal objetivo é obter valores inferiores a 110. Este KPI pode tomar os valores -1, 0 ou 1 de acordo com a expressão definida a seguir.

Goal Expression

"Consumo Recomendado ONU 110 L/dia"

Status

Status indicator:  Gauge

Status expression:

```
CASE
  WHEN [MEASURES].[CONSUMO_PER_CAPITA] > 120 THEN -1
  WHEN [MEASURES].[CONSUMO_PER_CAPITA] > 110 AND [MEASURES].[CONSUMO_PER_CAPITA] <= 120 THEN 0
  ELSE 1
END
```

Figura 21 - Definições do KPI CONSUMO_CONSCIENTE

4.6. REPORTING

O *Reporting* pode ser definido como forma de finalizar todo o processo de recolha, armazenamento, tratamento e disponibilização da informação. É a fase mais importante e essencial de toda a solução de *Business Intelligence*, porém só é possível devido à todas as anteriores. Nesta etapa são utilizadas poderosas ferramentas de *front-end* que tornarão os dados visíveis e com significado para servir de suporte às tomadas de decisão.

A agregação da informação em cubos OLAP através das suas funcionalidades permite efetuar análises multidimensionais com um elevado grau de autonomia e disponibilidade, permitindo um detalhe mais pormenorizado das métricas em análise como os KPI's e interfaces dinâmicas para o utilizador, tais como *Dashboards*¹⁴ e gráficos. Atualmente, estas funcionalidades já são disponibilizadas por um largo conjunto de avançadas ferramentas para visualização e análise dos dados, como Tableau, Power BI, Qlick View, dentre outras.

Essas ferramentas se conectam diretamente aos cubos OLAP e diversas outras fontes de dados e através da combinação e modelagem desses dados permitirão a criação de objetos visuais que possibilitam a percepção dos fluxos dos dados e de dependências e padrões entre os mesmos.

No fim de todo o processo de análise dos dados são os insights e as correlações relevantes que permitem que as empresas resolvam os problemas de negócios, impulsionem as vendas e ou encontrem novos fluxos de receita.

Em função dos objetivos principais são propostos o desenvolvimento de elementos visuais que traduzam as relações entre o consumo as variáveis que influenciam o mesmo, bem como elementos gráficos onde possam ser facilmente identificadas as possíveis fugas ou desperdício de água.

Para melhor exemplificar a proposta, as figuras a seguir apresentam *wireframes* para o desenvolvimento dos relatórios da solução.

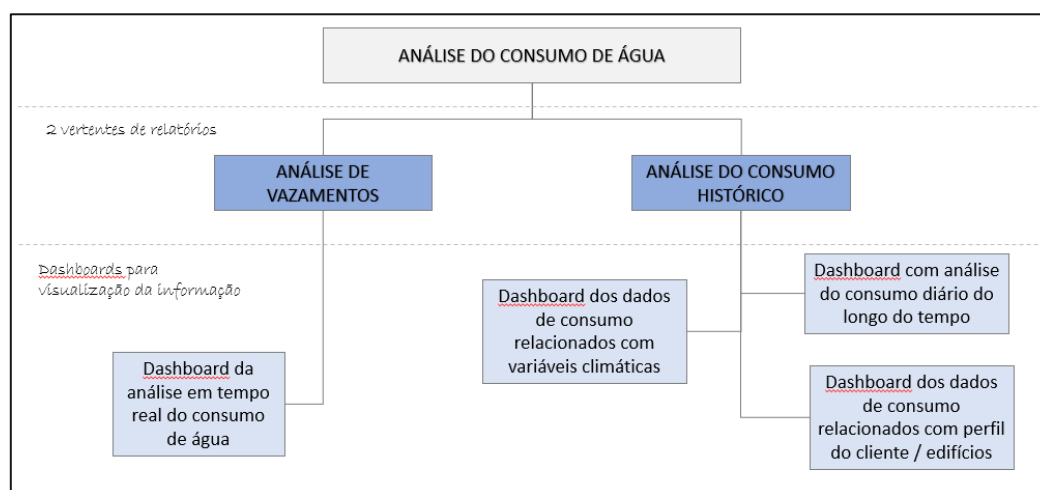


Figura 22 - Esquema para elaboração dos relatórios em dashboards

¹⁴ Um *dashboard* permite disponibilizar informação de uma forma intuitiva e dinâmica e são semelhantes ao cockpit de um avião ou de um automóvel.

A proposta de dashboard a seguir (figura 23) foca na análise em tempo real para identificação de possíveis fugas de água.

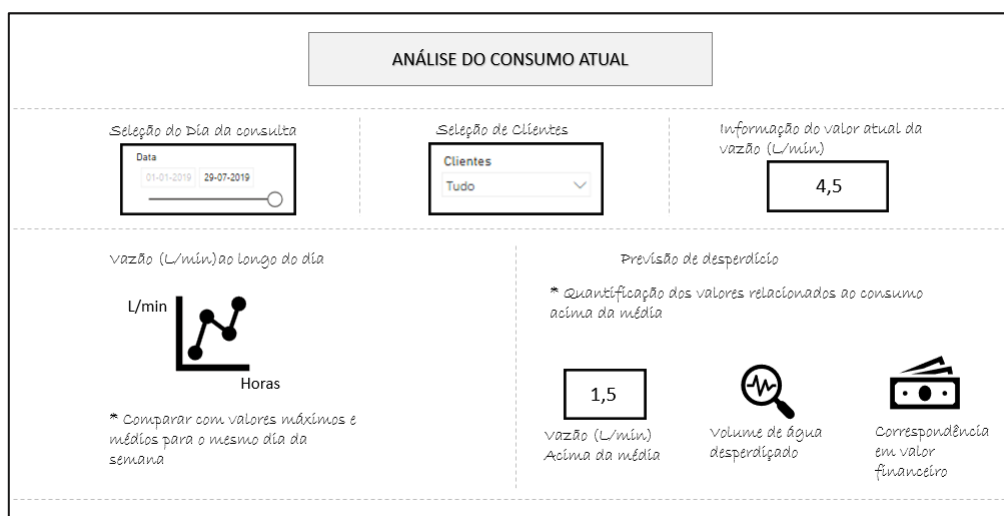


Figura 23 - Dashboard Análise em Tempo Real

O esquema da figura 24 apresenta uma proposta para análise do consumo histórico do cliente, com informações do consumo ao longo do tempo até o dia anterior a consulta. Nessa análise já será possível identificar algum padrão de comportamento e avaliar picos de consumo que podem ter sido provenientes de vazamentos, bem como o tempo de duração desses picos.

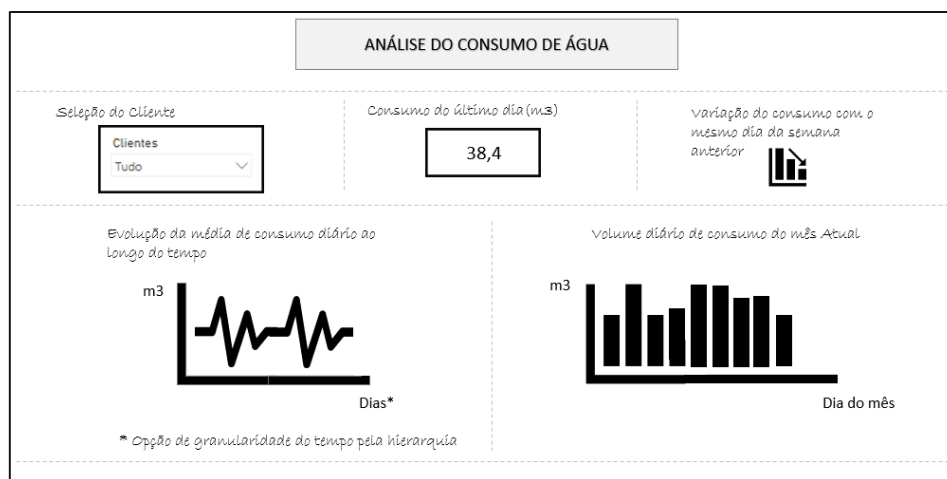


Figura 24 - Dashboard Análise do Consumo Histórico

A fim de avaliar o comportamento dos clientes em relação às alterações climáticas, a figura 25 representa o desenho do relatório para a análise em questão.

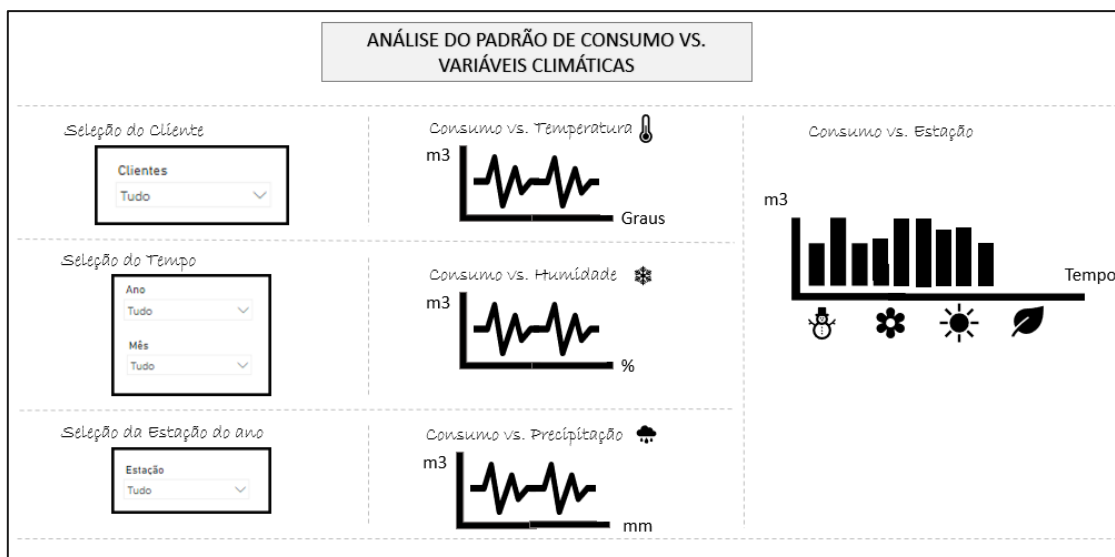


Figura 25 - Dashboard Análise do Padrão de Consumo vs. Variáveis Climáticas

Na mesma linha de análise a figura 26 demonstra um relatório para análise do comportamento do cliente em relação a variáveis indicativas do seu perfil e ao perfil do edifício. O intuito desse relatório também é identificar um padrão no comportamento a fim de contribuir na análise comparativa de clientes com um mesmo perfil, que possam estar utilizando água de forma abusiva ou até mesmo identificar vazamentos já “enraizados” àquele cliente devido ao fato de estarem presentes ao longo de um grande período de tempo.

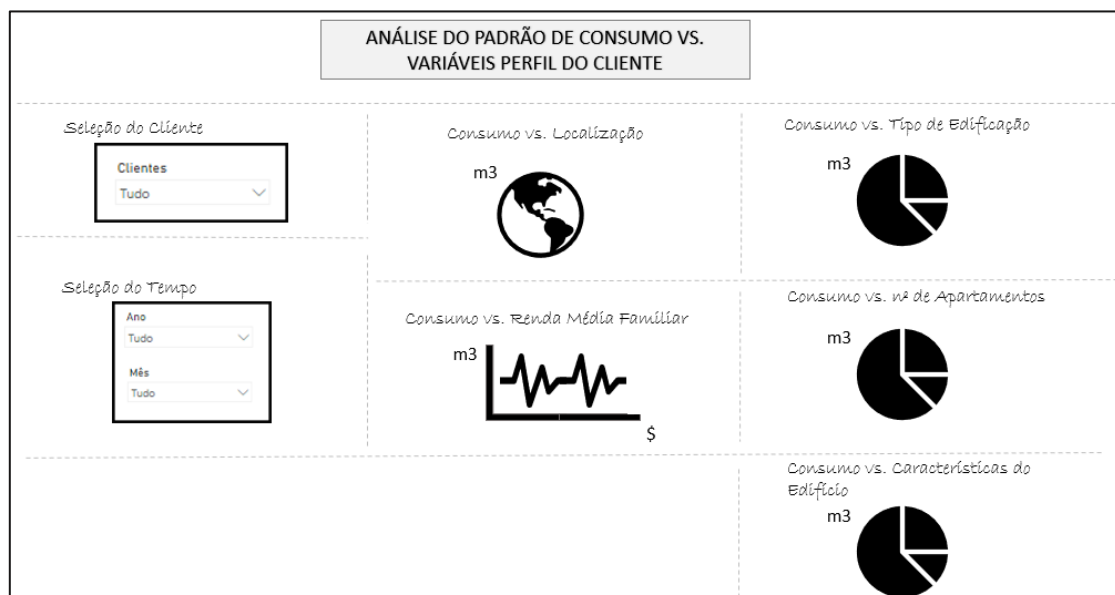


Figura 26 - Dashboard Análise do Padrão de Consumo vs. Perfil do Cliente

4.7. PLATAFORMA DE BI

O processo de construção da plataforma de *Business Intelligence* descrito nos tópicos anteriores oferece uma maneira de examinar os dados para que seja possível entender as tendências e obter *insights* sobre os padrões de consumo de água, além do acompanhamento em tempo real para identificação de possíveis vazamentos.

Assim sendo a arquitetura final da plataforma de BI proposta para o setor da água com foco na monitorização do consumo de água dos ambientes urbanos (edificações) seguirá o esquema da figura a seguir.

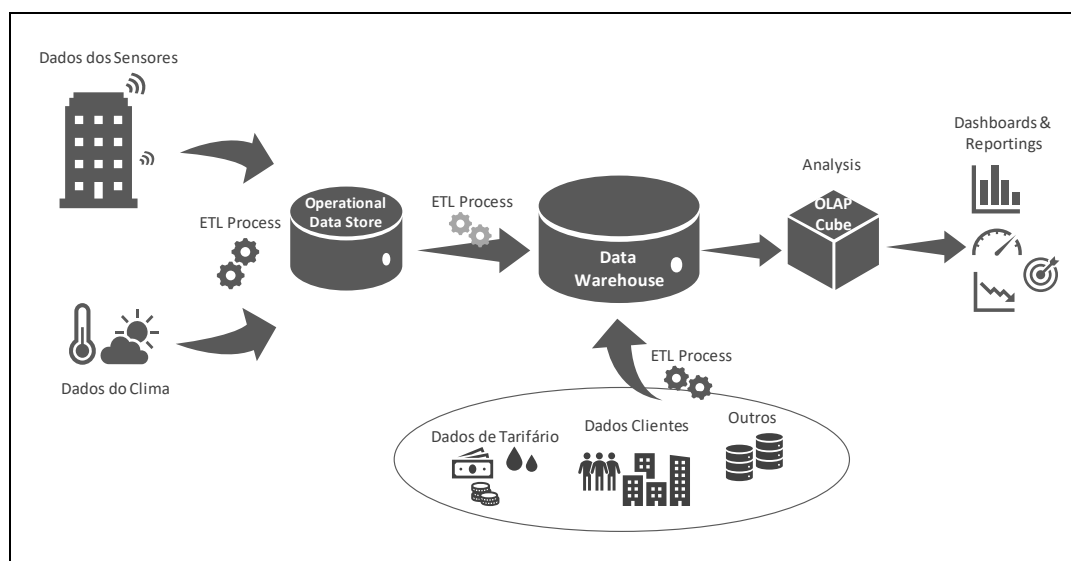


Figura 27 - Arquitetura da plataforma de *Business Intelligence* para monitorização do consumo doméstico de água

5. APLICAÇÃO DA SOLUÇÃO NA CIDADE DE SALVADOR

A Aquasave é uma empresa brasileira, sediada na cidade de Salvador no estado da Bahia. Desenvolve serviços de vistoria eletrônica, monitorização, otimização e manutenção de sistemas hidráulicos prediais e industriais, estando empenhada em reduzir o valor da conta mensal de água dos seus clientes, através da implantação de inovações tecnológicas e da aplicação de métodos e processos que reduzam o desperdício de água.

Todo o negócio da Aquasave está direta ou indiretamente, voltado para a economia de água, e um dos seus principais serviços é a tecnologia Aquanet. O Aquanet é um sistema de monitorização de consumo de água que conta com mais de 200 sensores instalados nos reservatórios dos edifícios para recolha dos dados de consumo de água.

Dessa forma, a Aquasave será utilizada como estudo de caso para a solução proposta. Será explorado o potencial das tecnologias já utilizadas pela Aquasave para tratamento e processamento dos dados de formar a agregar novas variáveis que possam contribuir para um modelo final de análise.

5.1. ETL

5.1.1 IDENTIFICAÇÃO DOS DADOS

De acordo com os sistemas de instalações prediais no Brasil, a maior parte das edificações utilizam os sistemas de abastecimento indiretos, ou seja, é feito através de um reservatório superior. Dessa forma a recolha dos dados obtidos pela Aquasave é feita através da instalação de sensores nos ramais de saída de água do reservatório superior, pois quando há utilização da água haverá fluxo de água nesses ramais possibilitando o cálculo da vazão.

Os dados recolhidos são transmitidos remotamente, através de telemetria para uma base de dados localizada em sistema *cloud*, onde são armazenados, oferecendo à empresa um grande volume de dados que possibilitam a análise e tratamentos destes.

A primeira extração dos dados é feita neste momento e está representada na figura 28. Os dados de registo das vazões são extraídos do servidor *cloud* e carregados numa tabela do banco de dados do servidor local, essa tabela passa a ser a fonte principal dos dados para o projeto.

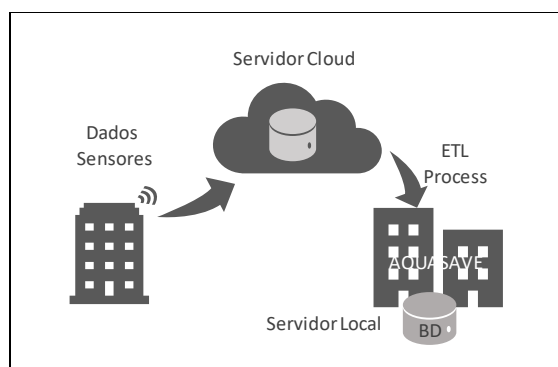


Figura 28 - Arquitetura da recolha de dados

Outras fontes de dados utilizadas para o desenvolvimento da solução são as tabelas de cadastro de clientes e a tabela com o volume total de água consumido por dia, por cliente. No caso específico da Aquasave esta tabela já está desenvolvida, mas este volume é facilmente calculado através dos registos de vazão durante o dia.

5.1.2 PROCESSOS DE CARREGAMENTO

A ferramenta utilizada para criação de todos os processos de transformação e carregamento das tabelas foi o SQL Server Integration Services (SSIS) da Microsoft.

A plataforma de BI proposta compreende a utilização de uma *Operational Data Store* (ODS) e uma DW que devem ser construídas e carregadas para os respetivos propósitos:

- 1- ODS para suporte no desenvolvimento dos relatórios real-time, indicando a probabilidade da ocorrência de vazamentos naquele instante.
- 2- DW para análise do consumo e padrões de comportamento.

Assim sendo, foram desenvolvidos os seguintes processos:

PC_FACT15MIN: processo de carregamento da tabela factual que será utilizada para análise em tempo real. A tabela de dados disponibilizada pela empresa apresenta registos de leitura a cada minuto, como a análise será elaborada a cada 15 minutos foi necessário realizar a extração e cálculo da vazão média a cada 15 minutos. Em simultâneo, adicionou-se as colunas com as chaves estrangeiras necessárias para a construção do modelo relacional que irá servir como base para o relatório/dashboard.

Processamento: este package deve ser executado a cada 15 minutos.

A figura 29 a seguir apresenta o fluxo dos dados para construção da tabela fato e o SQL Statement de uma das etapas.

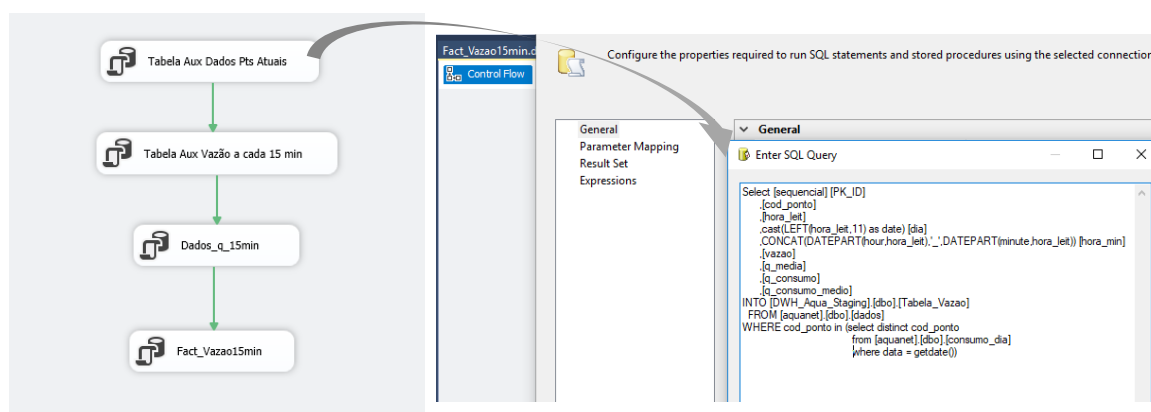


Figura 29 - Processo ETL de construção da tabela fato da análise em tempo real

PC_DIMCLIENTE: processo de carregamento da dimensão de clientes. É feita a partir da base de dados cadastrais do sistema da empresa (também disponibilizada em SQL), extraíndo as colunas referentes aos atributos definidos para a dimensão.

Processamento: este package deve ser executado todos os dias e através da chave primária mescla os dados da origem com as informações já existentes no DW e insere e/ou atualiza de acordo com os dados encontrados.



Figura 30 - Processo ETL de carregamento da dimensão Cliente

PC_DIMTEMPO: processo de carregamento da dimensão tempo. Foi feita a partir da tabela de Excel preenchida com os dados referentes ao calendário dos últimos anos e do próximo ano para a cidade de Salvador.

Processamento: este package deve ser executado apenas como carregamento inicial ou quando houver alteração oficial ou ainda quando for necessário incluir novos períodos de tempo.

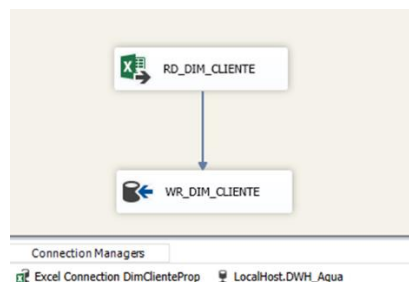


Figura 31 - Processo ETL de carregamento da dimensão Tempo

PC_DIMLOCALIZAÇÃO: processo de carregamento da dimensão localização. Foi feita a partir da tabela de Excel preenchida com os dados referentes aos atributos sugeridos para o modelo.

Processamento: este package deve ser executado apenas como carregamento inicial ou quando houver alteração como a inclusão de um novo bairro.

PC_DIMCLIMA: processo de carregamento da dimensão clima. Foi feito a partir da tabela de Excel preenchida com os dados referentes à temperatura, umidade relativa do ar e precipitação até a data do carregamento. A tabela do Excel deve ser preenchida diariamente com os dados do dia anterior. Uma vez que a atualização das informações não será feita de forma automática, optou-se por fazer o carregamento dessa dimensão através de uma ligação direta ao modelo desenvolvido no Power BI.

Processamento: sempre que um dado for inserido ou atualizado deve ser feito o “refresh” no relatório do Power BI para que o mesmo possa refletir os dados nos dashboards.

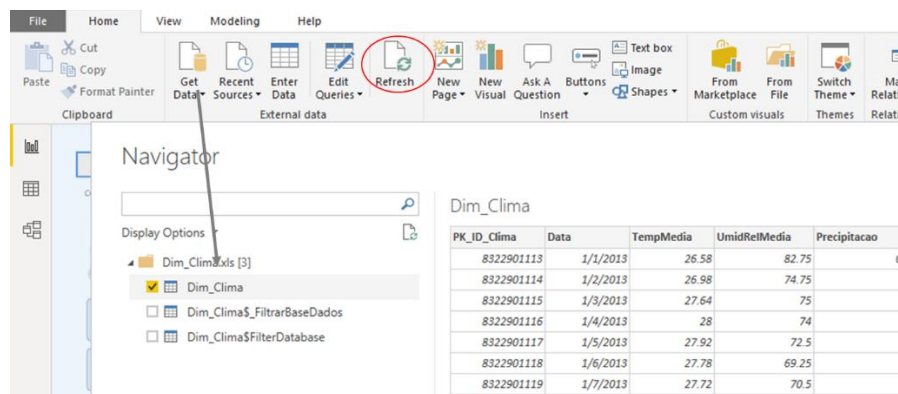


Figura 32 - Processo de carregamento da dimensão Clima

PC_FACTCONSUMODIA: processo de carregamento da tabela factual que será utilizada para análise do consumo e padrões de comportamento em relação às variáveis. A base de dados da Aquasave já contém a tabela com a compilação do volume total consumido por dia. Dessa forma este package foi desenvolvido para extrair a informação desta tabela e carregar para tabela factual da DW do projeto. Em simultâneo, adicionou-se as colunas com as chaves estrangeiras necessárias para a construção do modelo relacional que irá servir como base para o relatório/dashboard.

Processamento: este package deve ser executado todos os dias, a partir das zero horas do dia seguinte a data final de análise do relatório, ou seja, os dashboards apresentarão os dados até o dia anterior a data de consulta.

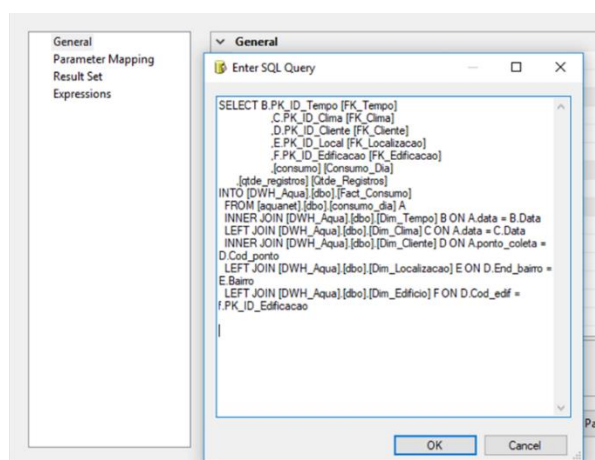


Figura 33 - Processo ETL de carregamento da tabela Fato Consumo

5.2. OLAP

5.2.1 MODELOS MULTIDIMENSIONAIS

O modelo de dados OLAP (*Online Analytical Processing*) foi desenvolvido diretamente no Power BI com a utilização das funcionalidades da ferramenta. Através da opção *Get Data* é possível fazer a conexão diretamente ao SQL Server e a Database correspondente e importar as tabelas necessárias para construção do modelo (figura 34).

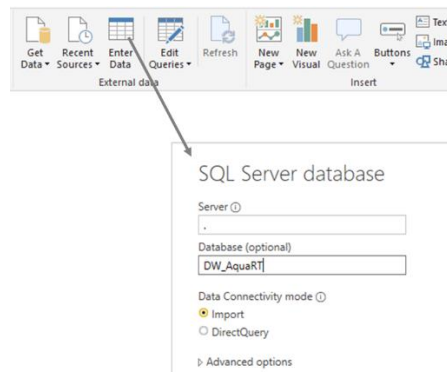


Figura 34 - Processo de carregamento das tabelas do modelo

O processo descrito anteriormente foi repetido para conectar as tabelas das dimensões Cliente, Tempo e Localização que completam o modelo para análise em tempo real. Essas tabelas estão armazenadas da DW principal do projeto e podem ser partilhadas entre os modelos. A figura 35 apresenta o modelo relacional final multidimensional que será utilizado para o relatório de análise de possíveis vazamentos.

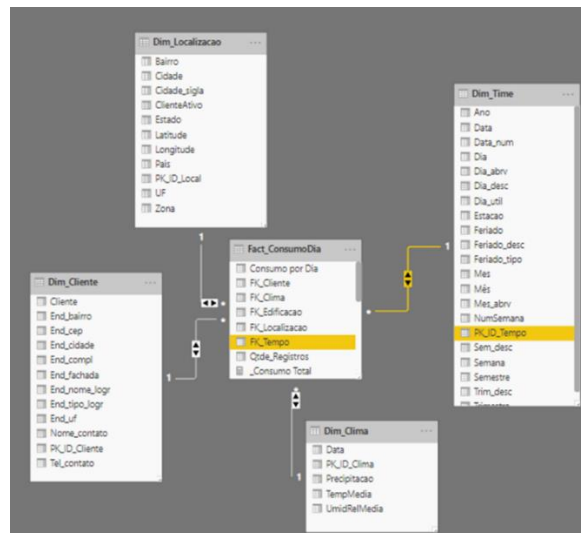


Figura 35 - Modelo multidimensional para análise do consumo doméstico de água

É possível verificar que as relações entre as tabelas estão identificadas através das chaves primárias das dimensões e as respetivas chaves estrangeiras presentes da tabela factual.

Para o modelo de análise de consumo diário todas as tabelas foram selecionadas da DW_Aqua, base de dados principal do projeto, aonde estão localizadas as tabelas facto e as dimensões que compõem o modelo a seguir (figura 36).

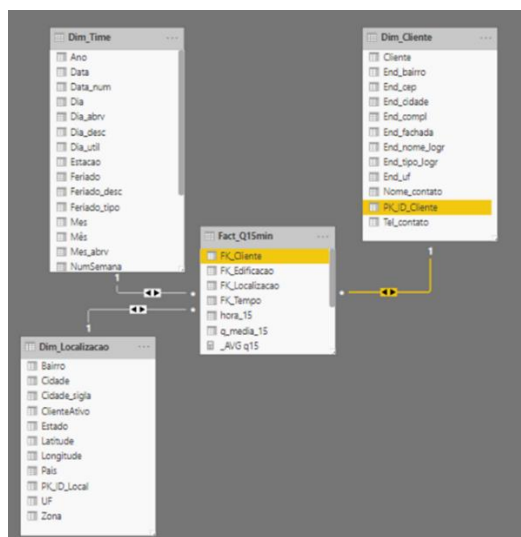


Figura 36 - Modelo multidimensional para análise da vazão de consumo em tempo real

5.2.2 MÉTRICAS CALCULADAS

Para esta implementação prática, as métricas sugeridas para a solução inicial foram adaptadas à linguagem DAX (Data Analysis Expression), utilizada no Power BI. Esta linguagem é uma coleção de funções, operadores e constantes que podem ser usados em uma fórmula ou expressão, para calcular e retornar um ou mais valores. Resumindo, o DAX ajuda a criar novas informações a partir de dados já presentes no modelo.

Alguns exemplos das métricas desenvolvidas estão relacionados a seguir:

Vazão média

```
Q_MEDIO_15 = AVERAGE(Fact_Q15min[q_media_15])
```

Vazão média do período homólogo (considera o mesmo dia da semana nos últimos 60 dias)

```
Q_MEDIO_15_PH_SEM = CALCULATE([Q_MEDIO_15];
    FILTER(Dim_Time; Dim_Time[WeekDay] = WEEKDAY(LASTDATE(ALLSELECTED(Dim_Time[Data]))); DATESBETWEEN(
        Dim_Time[Data]; DATEADD(LASTDATE(ALLSELECTED(Dim_Time[Data])); -60; DAY); LASTDATE(ALLSELECTED(Dim_Time[Data]))))
```

Volume total consumido entre as 3 e 4 horas da manhã

```
CONSUMO_Qmin = CALCULATE([Q_MEDIO_15]; FILTER(Dim_Time; (Dim_Time[Data])=LASTDATE(ALLSELECTED(Dim_Time[Data]))); FILTER(
    Fact_Q15min; (Fact_Q15min[hora_15] > 30 && Fact_Q15min[hora_15] < 35)))*60/1000
```

Volume total consumido entre as 3 e 4 horas da manhã, média histórica do ano atual

```
CONSUMO_Qmin_HIST = CALCULATE([Q_MEDIO_15]; FILTER(Dim_Time; YEAR(Dim_Time[Data])=YEAR(LASTDATE(ALLSELECTED(Dim_Time[Data]))));
    FILTER(Fact_Q15min; (Fact_Q15min[hora_15] > 30 && Fact_Q15min[hora_15] < 35)))*60/1000
```

Consumo Total

```
Consumo_Total = sum(Fact_ConsumoDia[Consumo por Dia])
```

Volume Total Acumulado do Ano atual

```
_Total YTD Ano Atual = CALCULATE([Consumo Total];  
DATESBETWEEN(Dim_Time[Data];  
STARTOFYEAR(LASTDATE(Dim_Time[Data]));  
LASTDATE(Dim_Time[Data])  
)
```

Volume Total Acumulado do período Homólogo do Ano Anterior

```
_Total YTD Ano Anterior = CALCULATE([Consumo Total];  
DATESBETWEEN(Dim_Time[Data];  
STARTOFYEAR(DATEADD(LASTDATE(Dim_Time[Data]);-1;YEAR));  
DATEADD(LASTDATE(Dim_Time[Data]);-1;YEAR)  
)
```

Taxa de variação do consumo em relação ao ano anterior

```
_Tx. Var. Consumo_Ano = ([Total YTD Ano Atual]/[Total YTD Ano Anterior])-1*100
```

5.3. REPORTING

A principal funcionalidade do Power BI é a flexibilidade e facilidade para o desenvolvimento de relatórios interativos e multidimensionais. Nesta ferramenta, os utilizadores usam o termo “dashboard” para esses relatórios.

Após a criação das métricas, as mesmas foram utilizadas na elaboração dos gráficos e elementos visuais a fim de tornar legível os dados sobre o consumo. Foram elaborados 3 principais dashboards com foco em orientar a visualização do utilizador para uma análise mais assertiva e objetiva.

Dashboard Real-Time: dashboard de análise da vazão do consumo em tempo-real.

Este dashboard é atualizado de 15 em 15 minutos e apresenta a vazão média no instante da consulta. O gráfico principal mostra a curva de consumo ao longo do dia podendo ser visualizado qualquer consumo acima do padrão. Este mesmo gráfico apresenta o valor médio do mesmo dia da semana e no mesmo horário, assim como o valor máximo nesse mesmo período de tempo.

A fim de complementar a informação e avaliar o impacto da vazão acima da média, área de previsão de desperdício apresenta os valores de desperdício estimados do restante do dia corrente e até o fim do mês, caso o vazamento não seja corrigido.

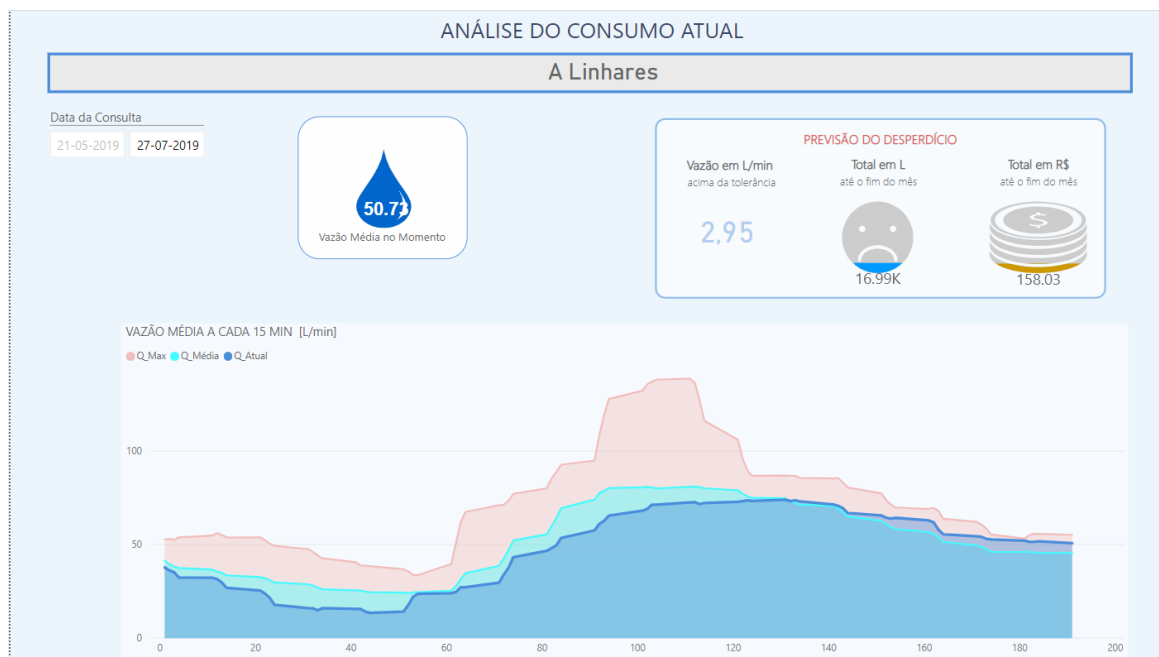


Figura 37 – Dashboard de Análise do Consumo em Tempo Real

Dashboard Consumo: dashboard com os volumes de água consumidos diariamente de um determinado cliente.

Esse dashboard apresenta o volume de água (m³) do consumo diário ao longo do tempo. Na área 1 temos o total do consumo do último dia e os KPI's da comparação com o mesmo dia da semana (segunda-feira, terça-feira, ...) da semana anterior e a comparação com a média de consumo neste dia da semana do mês anterior.

Na área 2 temos o total acumulado do ano até o dia atual comparado com o total consumido durante todo o ano anterior. Além do marco do valor total acumulado até a data de hoje referente ano anterior, neste caso, ultrapassar o marco significa que o consumo do ano corrente está acima do ano anterior (a mesma data).

Na área 3 são apresentados os valores médios de cada ano como um primeiro indicador da situação do consumo atual. Adicionalmente, os gráficos dos valores diários mensais e ao longo dos anos trazem uma análise macro e visual das variações de consumo.

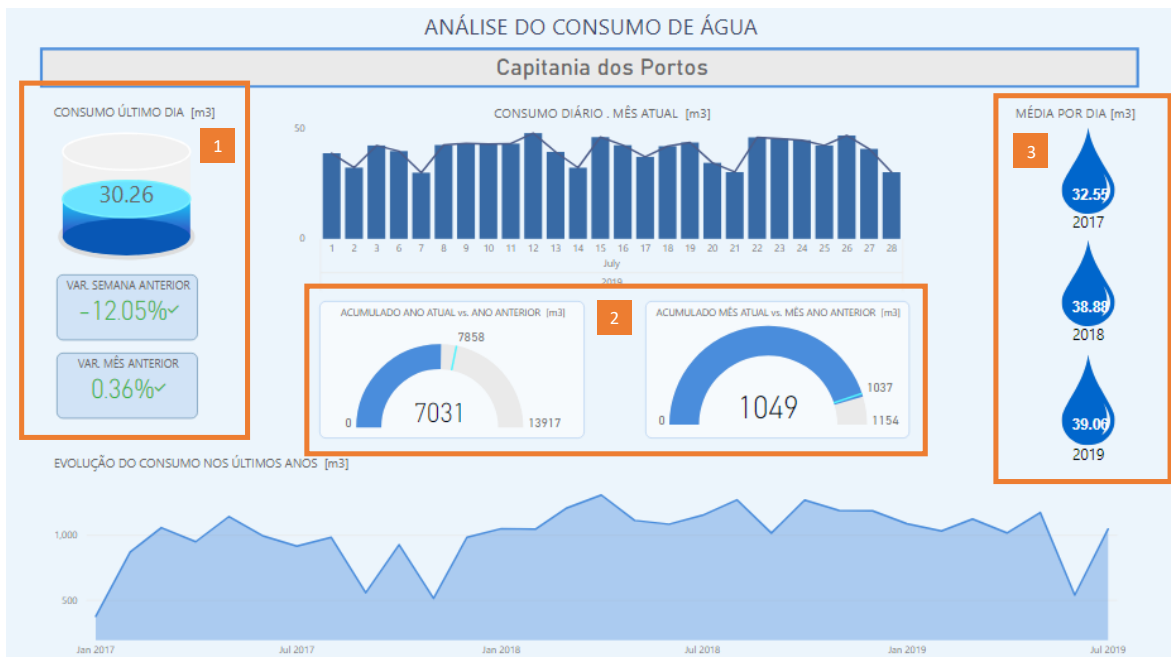


Figura 38 – Dashboard de Análise do Consumo

Dashboards Padrões de Consumo: análise do volume consumido comparado com as variáveis relevantes para que se possa descobrir padrões de comportamento do consumo.

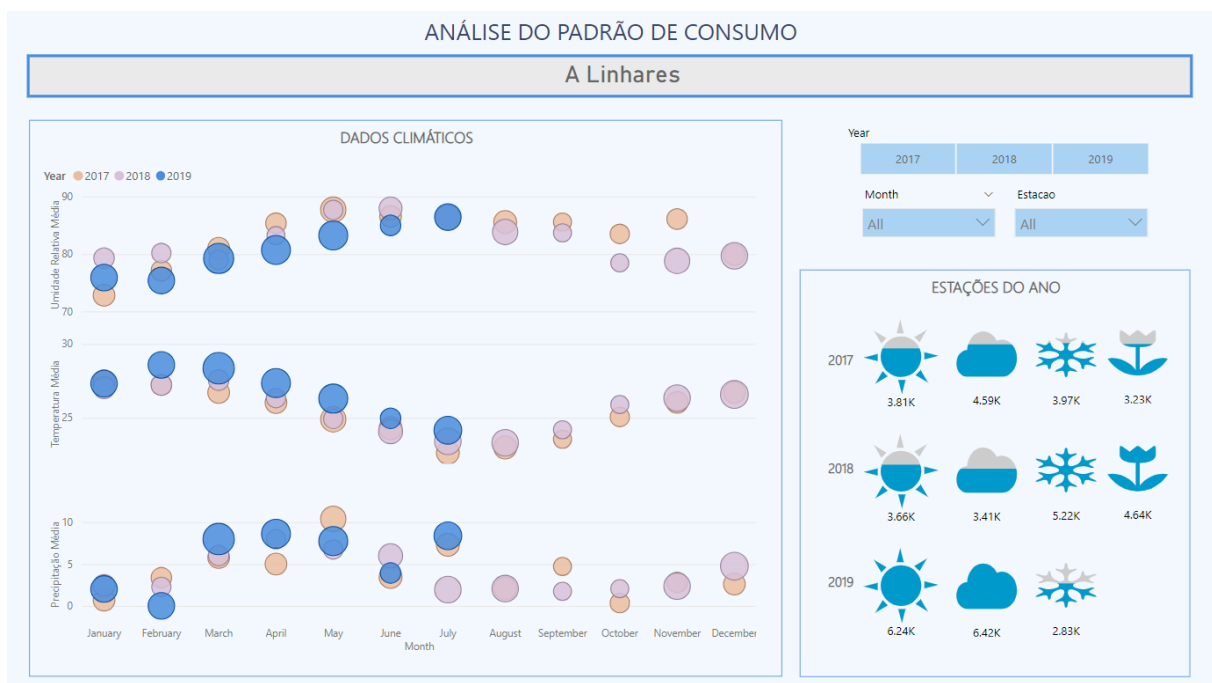


Figura 39 – Dashboard de Análise Padrão de Consumo

6. CONCLUSÃO

À medida que as cidades ao redor do mundo experimentam um aumento no crescimento, a necessidade de expandir-se de maneira sustentável, operar eficientemente e manter uma alta qualidade de vida para os residentes se torna ainda maior. Como tal, tornar as cidades mais inteligentes está emergindo como uma área chave de foco para os governos e o setor privado.

Uma das peças mais importantes da infraestrutura crítica de uma cidade é seu sistema de água. A monitorização da perda de água está se tornando cada vez mais importante à medida que as fontes são esgotadas pelo crescimento populacional ou escassez de água.

A incorporação de tecnologias inteligentes de água permite que as perdas de água sejam minimizadas pela descoberta de vazamentos de forma rápida usando dados em tempo real e comparando-os para modelar simulações. Adicionalmente, através da análise dos padrões de consumo ao longo do tempo e em comparação com variáveis que influenciam esse padrão é possível identificar comportamentos abusivos no que diz respeito ao consumo da água.

Em resposta a estes desafios, a criação de uma solução completa de *Business Intelligence* desde a análise das necessidades do negócio, definição e recolha dos dados até a visualização das informações em *dashboards*, contribuiu de forma significativa para o alcance dos objetivos definidos inicialmente. Cabe destacar a criação de uma *Operacional Data Store (ODS)* como suporte da análise em tempo real e outra DW para utilização tradicional, a fim de eliminar problemas de desempenho e para resolver problemas como inconsistência interna.

Outro aspeto importante, é que o desenvolvimento de toda a solução serviu de suporte à solidificação dos conhecimentos previamente adquiridos no âmbito do mestrado em que este trabalho se insere, além de ter contribuído de forma significativa para o meu enriquecimento pessoal e profissional principalmente através do uso das ferramentas da Microsoft em todas as vertentes deste projeto.

Por fim, este relatório irá servir de manual técnico, funcionando como base para o desenvolvimento de novas funcionalidades ou mesmo como base para futuros projetos, tanto a nível de novos relatórios, quanto ao desenvolvimento para outras áreas de negócio.

6.1. OBJETIVOS CONCRETIZADOS

Tendo em conta que os objetivos não sofreram alterações durante o projeto, é seguro afirmar que a proposta de solução de *Business Intelligence* cumpriu todos os critérios delineados inicialmente. No decorrer deste projeto, a metodologia de implementação informática sofreu pequenas alterações relacionadas com as ferramentas e usabilidade dos dados, não comprometendo o resultado final. Sendo assim, destacam-se os principais objetivos alcançados da realização desta solução:

1. Permitir, em tempo real, a identificação de volumes de consumo acima do habitual caracterizando possíveis vazamentos.
2. Possibilitar a análise de padrões do consumo através de elementos visuais de forma a impactar o utilizador para um consumo mais consciente.
3. Desenvolver uma solução tecnicamente viável para garantir a performance do sistema.

Toda a solução foi pensada e desenvolvida de forma a alcançar os objetivos propostos. É possível afirmar também que as ferramentas e metodologias sugeridas são adequadas à solução, salvaguardando que, como em qualquer projeto informático, existe um conjunto de procedimentos e ferramentas que podem ser utilizados como forma de complementar os sistemas atualmente em vigor, ou de torná-los mais eficientes.

6.2. LIMITAÇÕES

As limitações do projeto prendem-se essencialmente nas tecnologias necessárias para a realização do mesmo. Ao mesmo tempo em que houve a preocupação em acompanhar a evolução e as novas tendências tecnológicas de análise de dados como por exemplo a utilização do Power BI, também houve a necessidade de utilizar ferramentas de BI tradicionais da Microsoft (SQL Server Management Studio e Integration Services) em detrimento de ferramentas mais avançadas para tratamento de grande volumes de dados (Hadoop e MapReduce, banco de dados NoSQL). Essa escolha foi feita em função do nível de conhecimento das tecnologias (até o início no Mestrado nunca havia tido contato com as ferramentas de BI) e da fonte de dados principal com os dados de vazão do consumo, que foi disponibilizada em base de dados SQL.

Na fase de implementação da solução para avaliar a eficácia do modelo proposto surgiram novos desafios. Num primeiro momento, na recolha dos dados, não foi possível utilizar a “Web Service Task” do SSIS para recolha dos dados climáticos. Optou-se por carregar os dados históricos numa tabela do Excel cujo modelo do Power BI faz diretamente a leitura da dimensão.

Outra questão foi o conteúdo dos dados da fonte de dados disponibilizada para o projeto, o cadastro dos clientes não contém informações sobre as características dos prédios, como a presença ou não de piscina e número de moradores por exemplo, impossibilitando a análise da dimensão Edificação. Apesar de ser possível fazer a recolha da informação através de um formulário complementar de cadastro, além de não ser a prioridade da empresa, não houve tempo disponível para essa atividade. Entretanto este fato não prejudicou a avaliação da solução uma vez que essa é uma análise complementar para estudo do comportamento do consumo de água.

Apesar do desenho inicial da solução propor a construção e utilização do cubo OLAP no Analysis Server, o desenvolvimento do modelo multidimensional incluindo suas hierarquias e métricas foi realizado no Power BI com a utilização da linguagem DAX (Data Analysis Expression), em função das limitações de conhecimento da linguagem Multidimensional Expression (MDX) utilizada para criação de métricas e KPIs no SSAS. Mesmo optando pelo Power BI, houve necessidade de aprofundar os conhecimentos, nomeadamente na linguagem de tratamento de dados DAX devido às características do projeto.

As escolhas por essas ferramentas não prejudicaram o resultado e o propósito da solução, ao contrário, permitiram verificar que diversos caminhos são possíveis quando se trata de implementações de projetos de tecnologia da informação e que essas escolhas muitas vezes são feitas em função das limitações de conhecimento dos desenvolvedores, limitações técnicas e limitações dos dados.

Embora muitas tecnologias estejam disponíveis para implementar inteligência de negócios em tempo real, muitos desafios permanecem para tornar este em realidade.

6.3. TRABALHOS FUTUROS

No ambiente competitivo de hoje, com inovação rápida em medidores inteligentes e redes inteligentes, há uma necessidade crescente de *Business Intelligence* no setor dos serviços públicos (água, energia e gás). Acrescentando o fato que esta indústria é um ambiente onde as decisões são sensíveis ao tempo, as empresas do setor precisam da informação certa, no momento certo, para que possam fazer as decisões de negócios ideais e adicionalmente contribuir para um crescimento mundial sustentável.

Com base no projeto efetuado, existe um alto potencial de desenvolvimento dessa solução para outros setores, principalmente da indústria das *utilities*, ou qualquer negócio que envolva grande volume de dados e possua necessidade de análises em tempo real.

As soluções desenvolvidas para o estudo de caso, em conjunto com a metodologia proposta, fornecem as bases tecnológicas que irão permitir a construção das soluções para futuros projetos. No entanto, algumas melhorias precisam ser desenvolvidas:

- Desenvolvimento de um *script* para o processo de ETL da tabela de dimensão dos dados climáticos. O carregamento manual dos dados numa tabela de Excel prejudica a análise dos dados uma vez que o mesmo fica mais suscetível aos erros e à frequência de atualização;
- Análise da capacidade de manutenção à escalabilidade dos dados, tendo em conta o grau de crescimento inerente ao DW. Neste caso, ainda não foram avaliados os graus de crescimento dos dados, no entanto, deverão ser implementados mecanismos de manutenção e de criação de histórico para armazenamento de dados mais antigos com base nos requisitos dos utilizadores finais;
- Estudo das opções de acesso e disponibilização dos *dashboards* para os clientes finais. Apesar do desenho e conteúdo das informações apresentarem um foco visando o impacto no cliente, uma vez que se trata de um projeto académico, não foi sugerida nenhuma opção para essa função. Entretanto, o Power BI permite a publicação de *dashboards* na web como opção gratuita (até o presente momento);
- Reavaliação da frequência de transmissão de dados através de telemetria para a base de dados central. O grande volume de informação recolhido através da telemetria necessita de ser agregado e organizado numa única plataforma, que disponibilize de forma estruturada todos os dados, dessa forma quanto maior a frequência de transmissão maior o volume de dados e consequentemente maior o tempo de processamento de toda a solução.

Para finalizar, também é importante ressaltar que a solução desenvolvida está preparada para ser utilizada como fonte de dados para os modelos preditivos do consumo residencial de água. A análise descritiva dos volumes de consumo em função das diversas variáveis propostas, são dados enriquecedores para a modelagem preditiva essencial para gestão inteligente das redes de distribuição de água. As redes inteligentes podem reduzir os custos de energia e poupar a água, visto que os custos de energia podem ser reduzidos através da redução da quantidade de água necessária para ser bombeada ou tratada, e assim contribuir de forma ativa para o crescimento sustentável das cidades.

7. BIBLIOGRAFIA

- Anvari Moghaddam, A. e Seif, A. R. (2010). "Improvement of Power Systems Operation Using Smart Grid Technology", Paper presented at the First Iranian Conference on Renewable Energies and Distributed Generation (ICREDG'10) in Birjand, Iran on March 9-11, 2010 Paper No. ICREDG10 - DG7-75.
- Aquasave (2019). AQUASAVE Economia de Água. Retrieved June 12, 2019, from <http://www.aquasave.com.br/>
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1998). NBR 5626: Instalação Predial de Água Fria. Rio de Janeiro.
- Burek, P., Satoh, Y., Fischer, G., Kahil, MT., Scherzer, A., Tramberend, S., Nava, LF., Wada, Y., et al. (2016). Water Futures and Solution - Fast Track Initiative (Final Report). IIASA Working Paper. IIASA, Laxenburg, Austria: WP-16-006
- Branco, A. J. C. L. (2007). "Novos Paradigmas para a Gestão da Água e dos Serviços de Água e Saneamento: o Caso de Portugal". Dissertação para a obtenção de Grau de Mestre em Ciências e Tecnologias do Ambiente. Portugal, 2007.
- Brasil. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2016. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2018.
- Carvalho Junior, R. (2013). Instalações Hidráulicas e o Projeto de Arquitetura. Ed. Blucher, 7ª ed., pp.35, São Paulo.
- Cramer, R. (2006). "Estudo analítico de ferramentas open source para Ambientes OLAP." Monografia apresentada para a obtenção do título de especialista em Gerenciamento de Banco de Dados, Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Santa Catarina, Brasil.
- Falkenberg, A. V. (2005). "Previsão de consumo urbano de água em curto prazo". Dissertação para obtenção do grau de mestre na Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil.
- Gleick, P. (1993). "Water in crisis : a guide to the world's fresh water resources". New York ; Oxford : Oxford University Press, 1993.
- Gleick, P. and Palaniappan, M. (2010). "Peak water limits to freshwater withdrawal and use." PNAS June 22, 2010 107 (25) 11155-11162; <https://doi.org/10.1073/pnas.1004812107>.
- Gonçalves, E. e Alvim, P. (2007). "Técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água - Pesquisa e Combate a Vazamentos não Visíveis". Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água – PNCDA, Secretária Especial de Desenvolvimento Urbano, Secretária de Política Urbana, 89 p. Brasília, Brasil.

- Harinarayan, V., Rajaraman, A. e Ullman, J. (1996). "Implementing data cubes efficiently", Proc. 1996 ACM-SIGMOD Int. conf. Management of data, pp. 205-216, Montreal, Canada: ACM.
- Hoekstra, A. and Mekonnen, M. (2012). "The water footprint of humanity." PNAS February 28, 2012 109 (9) 3232-3237; <https://doi.org/10.1073/pnas.1109936109>.
- Howson, C. (2008). "Successful Business Intelligence: Secrets to making BI a Killer App." ed.: The McGraw-Hill.
- Inmon, W. H. (2005). Building the data warehouse (Third). Nova Jersy, EUA: John Wiley & Sons, Inc.
- Kimball R., Reeves L., Ross M., Thornthwaite W. (1998). "The Data Warehouse Lifecycle Toolkit". Wiley Publishing, Inc.
- Kimball, R. e Ross, M. (2013). "The Data WareHouse toolkit: The Definitive Guide to Dimensional Modeling". 3th Ed.: Wiley Computer Publishing: 1-109
- Leinmiller, M. (2017). "Smart water: A key building block of the smart city of the future". PennWell Corporation.
- Maize, W. (2018). "Smart Water: What to Expect in 2018". Artigo publicado na WaterWorld Magazine. Março, 2018
- Melato, D.S. (2010). "Discussão de uma metodologia para o diagnóstico e ações para redução de perdas de água: aplicação no sistema de abastecimento de água da região metropolitana de São Paulo", Dissertação para a obtenção de Grau de Mestre em Engenharia. Universidade de São Paulo.
- Microsoft corporation. (s.d.), "Sql Server", Microsoft Sql Server official web site, <https://www.microsoft.com/pt-PT/sql-server/sql-server-2017>, acedido em 25 de Maio de 2018.
- Neto, M. de C. (2017). Business Intelligence. Universidade Nova de Lisboa.
- Oliveira, L. H. (1999). "Metodologia para implantação de programa de uso racional da água em edifícios", tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ONU (Organização das Nações Unidas) (2016). "Transformar o nosso mundo: Agenda 2030 de Desenvolvimento Sustentável". *Resolução com os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)*.
- Oracle (2013). "Utilities and Big Data: Using Analytics for Increased Customer Satisfaction" December", White paper from Oracle Corporation, U.S.A.
- Popeanga, J. and Lungu, I. (2012). "Real-Time Business Intelligence for the Utilities Industry". Database systems jornal, v.3, i. 4, p. 15-24. Academy of Economic Studies-Bucharest, Romania.
- SAS (2017). "Utility analytics in 2017: Aligning data and analytics with business strategy". White paper from SAS Institute Inc., in the USA and other countries.

- SABESP (2017). “Manual do Controlador”. Manual de instrução para implantação, gestão e mudanças de hábito, no Programa de Redução de Consumo de Água. Governo do Estado de São Paulo.
- Sandu, D. I. (2008). “Operational and real-time Business Intelligence”. *Informatica Economica Journal* 3(47)/2008.
- Santos, D. (2002). “Os sistemas prediais e a promoção da sustentabilidade ambiental”. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v.2, n. 4, p. 7-18, out/dez 2002. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.
- Serranito, F. S. e Donnelly, A. (eds) (2015). “Controlo Ativo de Perdas de Água”. EPAL, Empresa Portuguesa das Águas Livres S.A., Lisboa. 95pp. ISBN 978-989-8490-02-5
- Subotić, D., Pošćić, P. and Slavuj, V. (2013). “Olap Tools in Education,” *Media, Culture and Public Relations*, vol. 4, no. 1, pp. 34–44.
- Tardelli Filho, J. (2004). “Controle e Redução de Perdas. Abastecimento de Água.” Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Tomaz, P. (1998). “Conservação da Água”. S.1: s.n.
- WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2018: soluções baseadas na natureza para a gestão da água. Paris, UNESCO, 2018
- Yoshimoto, P. M., Filho, J. T., Saredas, G. L. (1999). “Controle da Pressão na Rede.” Documento técnico de Apoio D1 – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água, Brasília, 1999. Disponível em: <http://www2.cidades.go.br/pncda>.